Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

I. Problématique et contexte du travail

Dans les régions rifaines ainsi que dans de nombreuses zones cultivées du Maroc, des problèmes économiques et environnementaux graves dus à l'érosion des sols sont de plus en plus fréquents. Le taux d'érosion dans les zones rifaines fragiles est en moyenne de 17 t/ha/an (Moukhchane et *al*. 1998).

L'érosion hydrique qui affecte les sols marocains est fonction de multiples facteurs naturels (le climat, la végétation, la lithologie, la topographie, l'érodibilité des sols…) et anthropiques (cultures sur des pentes fortes, défrichement, construction de route et d'ouvrage d'art…) qui semblent être les mêmes partout dans le monde.

L'érosion et la dégradation des sols ont des effets majeurs sur l'environnement et l'économie. Les conséquences hydrologiques de cette dégradation sont importantes et parfois catastrophiques. Dans les régions à climat semi-aride ou méditerranéen, la dégradation des sols s'exprime par une diminution de la densité de la végétation, une perte en sol (perte de productivité à long terme), une perte de la matière organique et de la capacité de rétention, une minéralisation accrue du paysage, l'apparition d'entailles d'érosion actives et une salinisation progressive des terres irriguées. A l'échelle locale, les conséquences de la dégradation des sols pour les populations vont de la baisse de fertilité à l'évacuation de régions entières.

Cette étude a été préparée dans le cadre du stage de fin d'étude de master au sein du laboratoire GEOTechMED, dans le cadre du projet « Elaboration de l'étude géotechnique et de la carte d'aptitude a l'urbanisation de la ville de Taounate » pour la réalisation de l'étude géotechnique de la ville de Taounate.

- **Présentation du secteur étudié**

Le secteur étudié couvre la zone urbaine de la ville de Taounate et son périurbain, soit une superficie de 88.23 km^2. Il s'encadre entre les coordonnées maximales et minimales suivantes : les parallèles 34°28' et 34°35' de latitude Nord et les méridiens 4°34' et 4°43' de longitude Ouest.

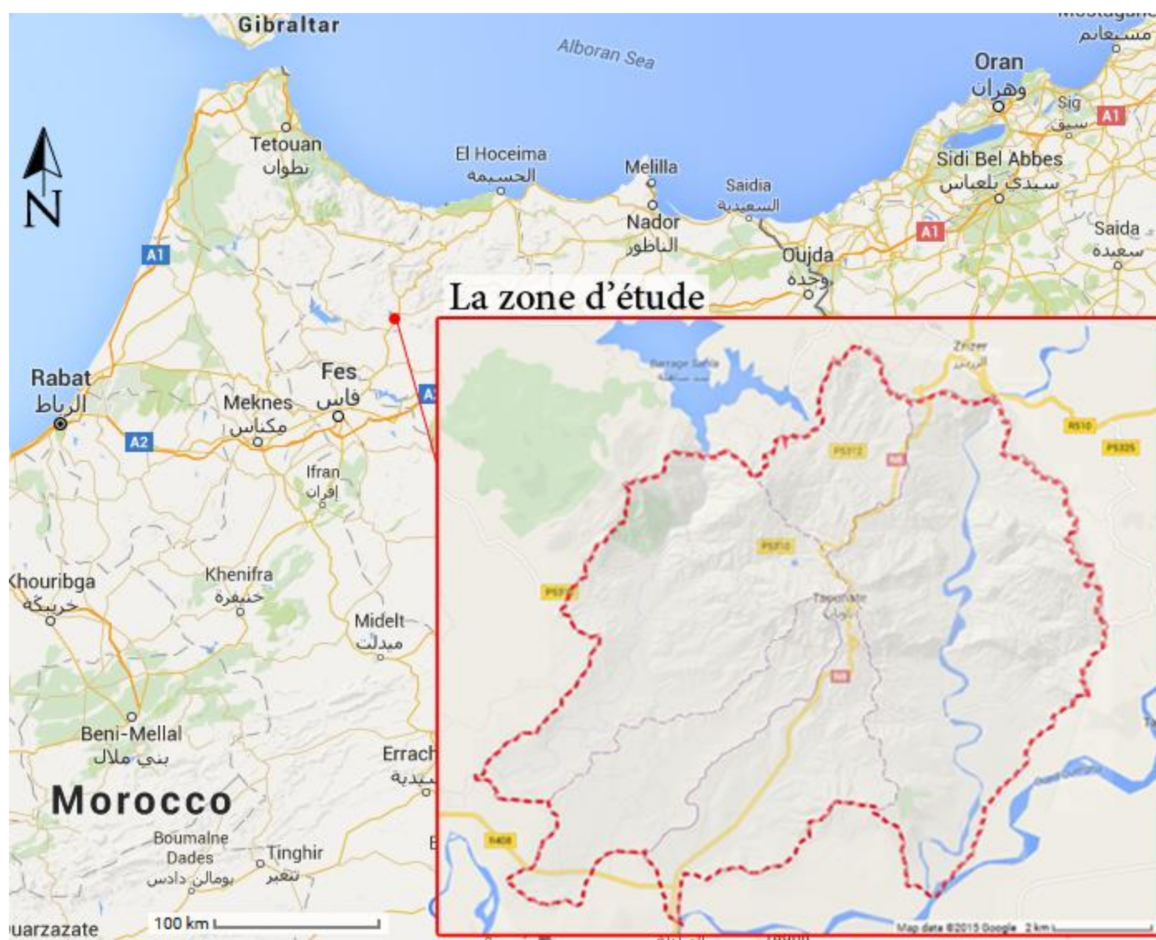


Figure 1: La situation géographique de la zone d'étude.

- ## Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est de chercher la prédisposition des terrains de la région de Taounate à l'érosion hydrique.

L'approche PAP/CAR (Programme d'actions prioritaires centre d'activités régionales) vise un objectif immédiat, qui est celui de rendre disponible un outil méthodologique et une source d'information pour la mise en œuvre des projets et programmes de gestion du contrôle de l'érosion, et des objectifs à long terme qui contribuent à atténuer et mieux contrôler les processus d'érosion pour améliorer l'utilisation des terres, rationaliser l'exploitation des ressources en terres, enfin améliorer les conditions de vie et la sécurité alimentaire des populations.

L'approche utilisée porte surtout sur l'intégration des facteurs influençant l'érosion hydrique, tels que la pente topographique qui traduit la morphologie et l'inclinaison des terres, le type de sol et le matériel lithologique, le type de couverture végétale qui traduit

les systèmes d'exploitation agricole, la densité de recouvrement et enfin sur les mesures et structures antiérosives existantes. Ainsi, une évaluation de l'érosion qualitative a été établie grâce à divers croisements des cartes thématiques entre elles. Ces informations ont permis d'établir un bilan et diagnostic de la dégradation physique des milieux pour le cas du bassin versant.

La cartographie systématique des caractéristiques qualitatives et dynamiques des formes d'érosion permet l'identification de deux grandes catégories de milieux géographiques: les milieux morphologiquement stables, non encore affectés par l'érosion, et les milieux instables actuellement altérés par un quelconque phénomène d'érosion ou de dégradation physique

Une carte globale de la gravité de l'érosion a permis une identification des milieux stables et instables.

Pour atteindre ce but, j'ai réalisé une visite de terrain de reconnaissance des caractéristiques géologiques géomorphologiques, hydrologiques et d'occupation de sol. Un travail de bureau a consisté sur :

La recherche documentaire sur la zone étudiée, la thématique abordée et la technique suivie

La numérisation de la carte géologique de Taounate et reclassement sous SIG de la carte des lithofaciès.

L'extraction de la restitution, établie en 2014, des données d'occupation du sol (constructions, réseau routier, types de cultures et de couvert végétal), hydrologique (réseau hydrographique) et topographiques (courbes de niveaux et points cotés)

L'analyse sous SIG (système d'information géographique) : construction des cartes d'altitudes, des pentes, des bassins versants ;

La simulation spatiale sous SIG de l'érodibilité, de la protection des sols et de l'état érosif de la zone d'étude

- **Plan du mémoire**

Le mémoire s'articule en 2 parties :

La première partie contient deux chapitres qui portent sur la problématique et la présentation du terrain d'étude.

Le premier chapitre détaille les problèmes causés par l'érosion dans les pays méditerranéenne, vu que le PAP/CAR est propre à ces pays, puis dans le bassin de l'Ourgha dont l'Oued Sra, Oued Sahla, Oued Essouihil, Oued Lehma et Oued El Mellah sont des affluents qui lui appartiennent.

Le second chapitre concerne la présentation du cadre général des sous-bassins versants de la zone d'étude (situation, morphologie, climat, géologie et couvert végétal).

La deuxième partie quand à elle est consacré à l'application des directives PAP/CAR net aux résultats.

Le premier chapitre est consacré à la méthodologie adoptée.

Le deuxième chapitre concerne l'approche prédictive par la cartographie thématique

Le troisième chapitre porte sur l'approche descriptive ou sont décrits toutes les formes et tous les processus d'érosion rencontrés dans le bassin versant.

Le quatrième chapitre consiste en l'intégration des deux approches pour élaborer la carte consolidée de l'érosion. On présentera enfin les tendances générales de l'érosion et quelques types d'intervention et de maintenance

PARTIE 1 : Problématique, Cadre Général De la zone d'étude.

I. Cadre géologique de la zone d'étude

Le secteur étudié fait partie du domaine externe du Rif central. La géologie de la région de Taounate à été étudié par P. RUSSO (1927), J. LACOSTE (1934), G. SUTER (1965) et L. ASEBRYI (1984). Dans ce secteur affleurent principalement l'unité externe de la zone méso-rifaine et les formations post-orogéniques. Les premiers le font au niveau de la "ride de Taounate" et les secondes de part et d'autre de celle-ci (fig. 2 et 3). La stratigraphie du secteur comprend les formations suivantes :

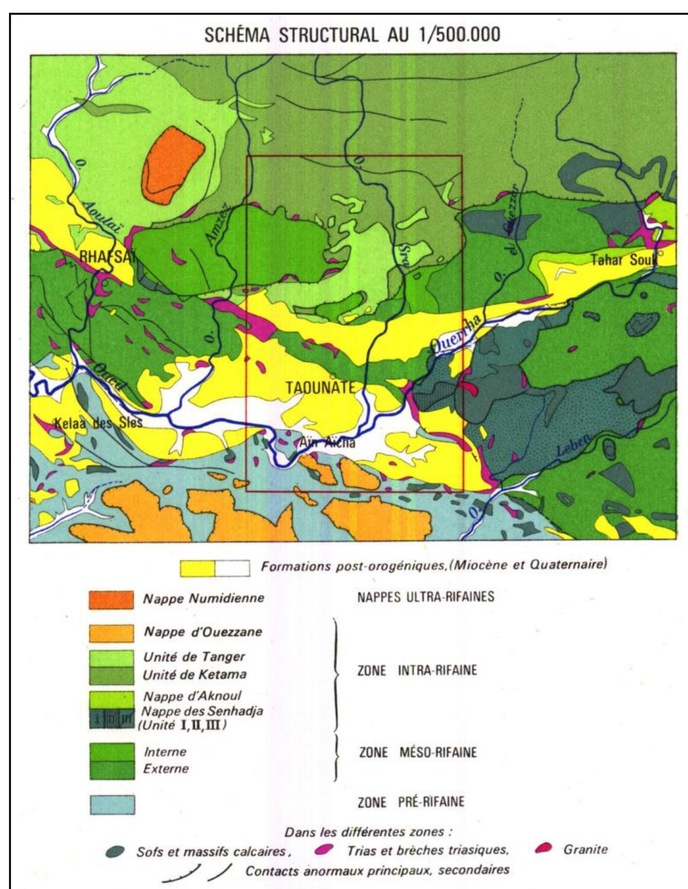


Figure 2: Schéma structural de la zone d'étude (Suter 1967)

- **Le Trias**

En outre, les affleurements de ce complexe triasique dans le secteur se localisent en deux affleurement bien visibles:

1) - Au niveau de la rive gauche de l'oued Mellah où il forme une bande rectiligne orientée NW-SE de 1500 m, sur 200 m de largeur;

2) - Au niveau de la vallée du Rhaï sur le versant sud du Jbel Astar, mais avec une superficie d'affleurement très réduite.

Dans les deux cas, il s'agit d'argiles rouges contenant de petits cristaux de gypse et de sel en amas dans les argiles. Des faciès plus résistants de dolomies, calcaires, cargneules et ophites apparaissent isolés dans certains affleurements. Ils forment une grande brèche polygénique et donnent à la topographie un aspect chaotique par suite des processus de dissolution extrêmement actifs sur un matériau argilo-gypso-salifère.

Par contre, le gypse, qui a été mis en affleurement par la grande vallée de l'oued Sra sous les schistes crétacés à l'Est de Taounate, a un faciès stratiforme bien que la masse soit constituée à 90 % de gypse saccharoïde. Les minces lits sont matérialisés par des petits fragments anguleux de schistes gris ou de dolomies. Cet affleurement de gypse ne présente aucun rapport avec ceux du Jbel Astar. Dans ce dernier cas, il s'agit tout simplement d'un aspect purement sédimentaire et ses contacts avec les séries du Crétacé sont anormaux.

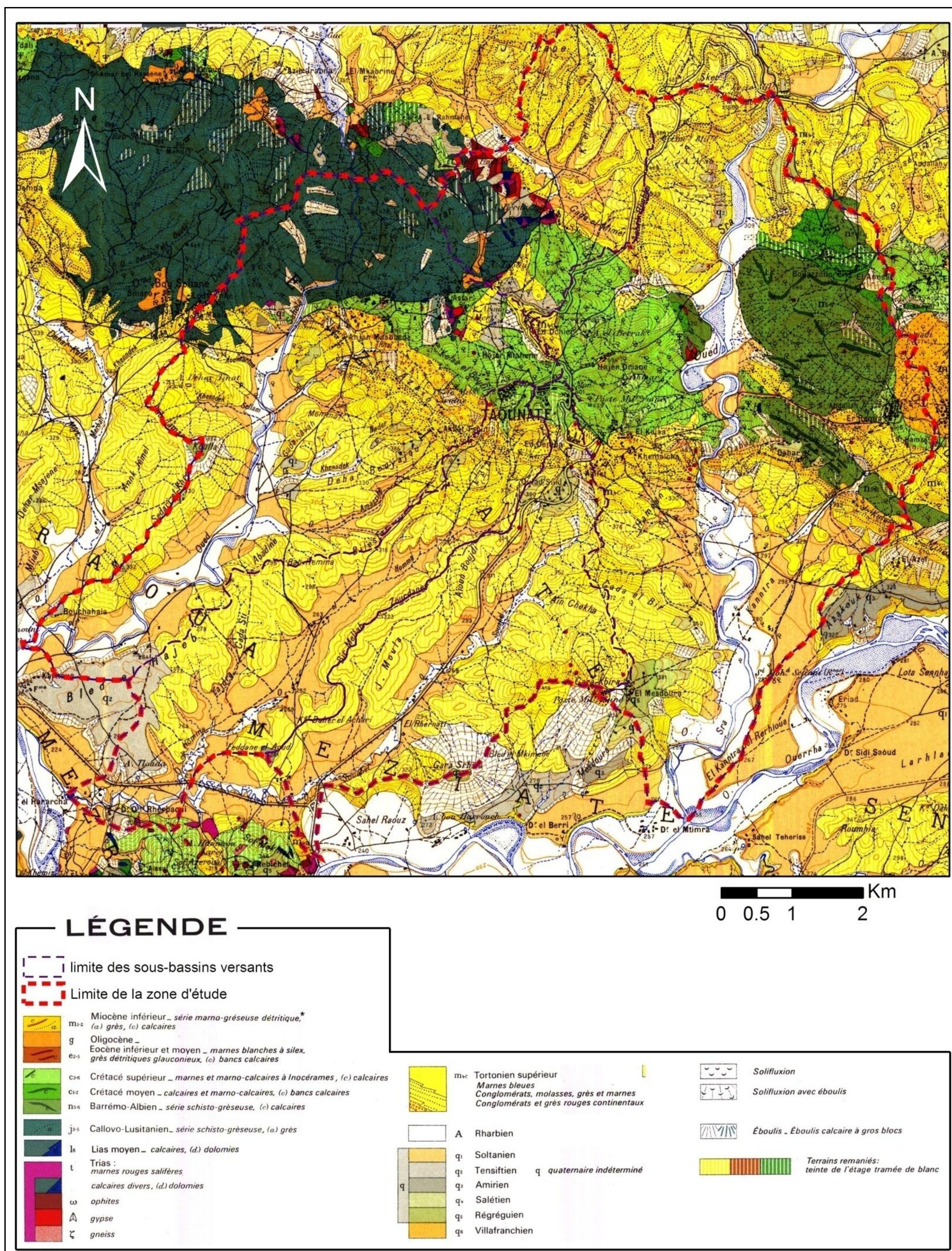


Figure 3: Carte géologique de la zone d'étude
(Extraite de la carte géologique de Taounate 1/50000, Suter, 1967)

- **Le Jurassique**

a. Le Lias

Il est rattaché à des calcaires dolomitiques noirs, très fracturés, en affleurements très discontinus sous forme de pointements rocheux plus ou moins impliqués dans la grande masse du complexe triasique. Il a été daté par Eodiadema lacosteii (Lacoste., 1934) et attribué à la base du Lias.

b. Le Callovo-Oxfordien.

Il constitue l'essentiel du Jbel Astar et correspond à une puissante série de flysch schisto gréseux, monotone presque azoïque. La base de cette formation n'est pas connue dans la région, par contre le sommet est marqué par la transgression du Crétacé (Asebry, 1984). (figure 4).

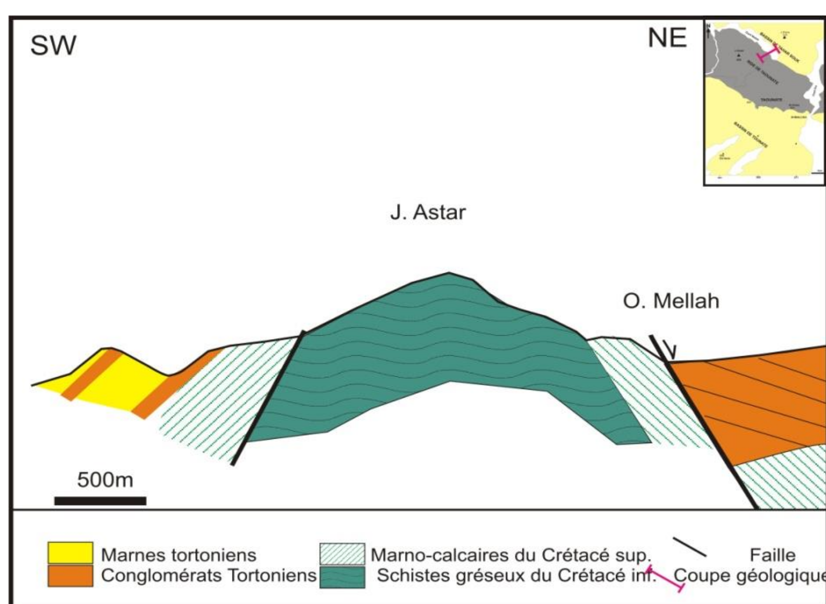


Figure 4: Coupe géologique passant Jbel Astar (GEOTECHMED, 2015)

- **Le Crétacé**

Il est essentiellement représenté par le Sénonien dans le secteur étudié. A l'Est de la ville de Taounate, des affleurements du Crétacé inférieur et moyen encadrent la vallée de l'oued Sra.

c. Le Crétacé inférieur et moyen

Le Crétacé inférieur présente un faciès schisto-gréseux de couleur rousse, très schistosé et non fossilifère. On trouve des intercalations de niveaux quartzitiques très discontinus et un sol le plus souvent décapé. Ce faciès se rattache au Barrémo-Aptien.

Le Crétacé moyen coiffe le Crétacé inférieur par un petit affleurement de nature marno calcaire au Nord-Est de Taounate.

d. Le Crétacé supérieur "Sénonien"

Le Sénonien forme le substratum des formations post-orogéniques du Tortonien supérieur. Il se présente sous le faciès de marnes schisteuses verdâtres à lentilles de calcaire, de marnes jaunes et de marnes rouges. Au Sud de l'ancien village de Taounate. (voire l'annexe, photo 3).

La base n'est pas visible et la série débute par un calcaire argileux dont les bancs de calcaires ont une épaisseur moyenne de 20 cm, la patine est jaune et la cassure fraîche ayant une couleur grise. La nature est micritique.

La série est surmontée par une alternance de marnes schisteuses verdâtres et de bancs de calcaires (60 m) qui deviennent de plus en plus rares à mesure que l'on monte dans la série. Vers le sommet, on trouve des intercalations de marnes jaunes limoneuses à faciès tendre et très humide, ayant donné lieu à deux petits glissements actifs au sud de la cimetière. (A. Fares 1994)

Au nord-Est de Taounate, le Sénonien affleure sous un faciès différent, avec des marnes gris et noir finement schistosées, facilement débitables et solifluâtes. On note toujours la présence de bancs de calcaires analogues à ceux évoqués précédemment. (A.Fares 1994)

La coupe suivante presente la superposition des differente couches d'âge Sénonien :

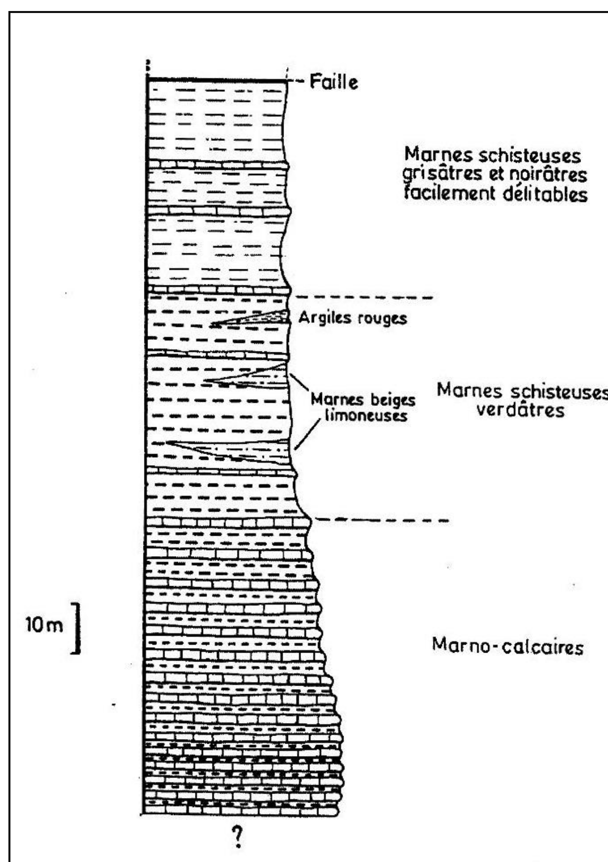


Figure 5: Coupe lithostratigraphique des marnes schisteuses du Sénonien à Taounate (Fares 1994)

- **Le Tortonien supérieur**

Les dépôts du Tortonien supérieur couvrent de grandes surfaces dans le secteur de Taounate et correspondent au maximum de la transgression miocène dans le Rif méridional.

Ils reposent en discordance sur les terrains anté-miocènes et comblent les bassins effondrés au cours de la tectogenèse paroxysmale miocène, par une série détritique très épaisse. De ce fait, le Tortonien a été qualifié de Miocène "post-nappes". la sédimentation était principalement conglomératique et gréseuse dans le bassin du Nord (bassin de Tahar Souk) et elle était essentiellement marneuse dans celui du Sud (Bassin de Taounate). (Voire figure 6 et l'annexe photo 1 et 2).

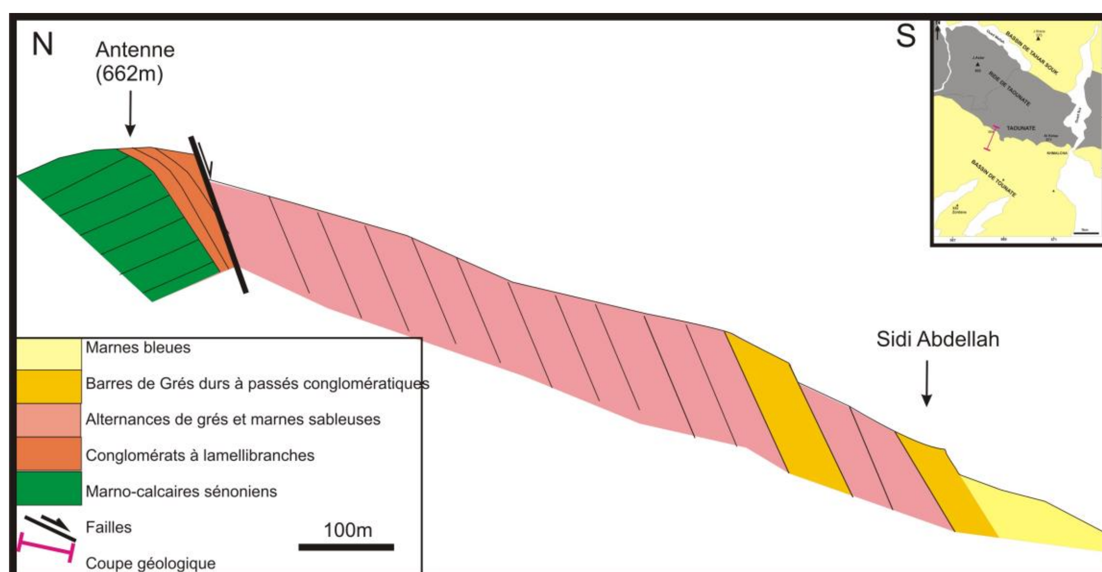


Figure 6: coupe géologique au sud de Taounate entre l'Antenne et Sidi Abdellah (GEOTECHMED, 2015)

Les petits affleurements (Ed Dchier et Hajer Driane) gréseux sur la ride juste au nord de la ville peuvent être assimilés au niveau de base de la série du Sud. Dans son étude stratigraphique Le Blanc (1979), appelle "série de Taounate" la série qui fait partie du bassin du sud et série de Tahar Souk celle qui appartient au bassin de Tahar Souk situé au nord. Pour les affleurements tortoniens qui se trouvent sur la ride, l'appellation s'est vue des affectations selon la localité.

- **La série de Taounate**

Globalement, la série de Taounate montre de bas en haut les formations suivantes (Figure 8):

- *Conglomérats marins discordant sur le Sénonien;*
- *Barre gréseuse constituée à l'Ouest par des grès calcaires, calcarénites et conglomérats à Lamellibranches.*
- *Marnes gréseuses bleues en plaquettes;*
- *Formation molassique de couleur rouge (60 m). La molasse commence par des conglomérats rouges et des grès durs à ciment ferrugineux, et se poursuit vers le haut de la série par des marnes gypsifères grisâtres à verdâtres quelquefois rougeâtres*
- *Sur cette molasse rouge gypseuse, la sédimentation et redevenue principalement grossière, avec l'apparition d'une alternance de conglomérats, de microconglomérats et des grès durcis à ciment ferrugineux puis de grès tendres à passées conglomératiques*
- *La série se poursuit par des marnes grises dites "Bleues", estimées à 1000 m d'épaisseur (voire figure 7 et l'annexe, photo 4).*

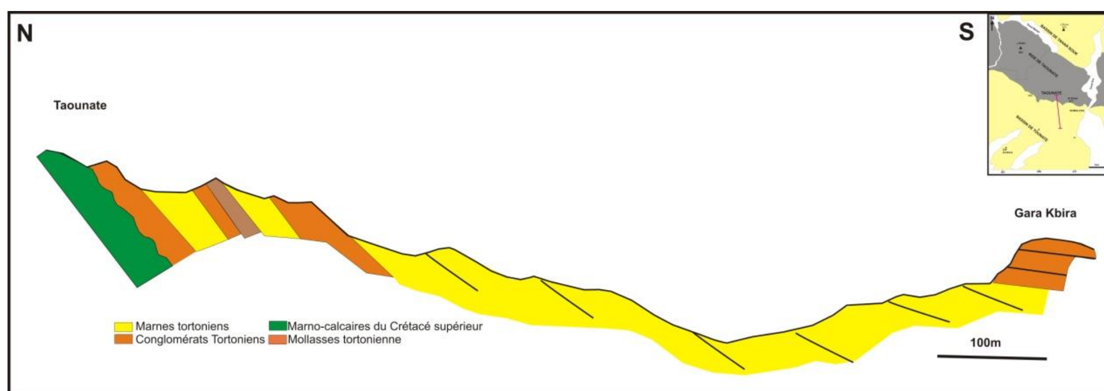


Figure 7: Coupe dans la série miocène du bassin de Taounate. (GEOTECHMED, 2015)

La série de Taounate est donc caractérisée par des variations latérales de faciès dans le sens nord-sud et Est-ouest, et ce, en relation avec la paléogéographie d'un bassin confiné dont la topographie du fond était assez instable. L'association micro faunistique a indiqué un âge Tortonien terminal à Messinien basal avec des remaniements de microfaune du Miocène moyen.

Dans le détail, la série de Taounate commence par des conglomérats marins discordants sur le Sénonien avec une légère variation d'épaisseur. Ils sont surmontés par une barre gréseuse constituée à l'Ouest par des grès calcaires, calcarénites et conglomérats à Lamellibranches sur une épaisseur de 20 m. A l'Est et au niveau d'El Kelaa, elle correspond à des grès à ciment coquilliers, très massifs à structure sédimentaire littorale (pistes d'annélides, rides) faisant 50m d'épaisseur. Puis, on passe à des marnes gréseuses bleues en plaquettes.

Sur cet ensemble inférieur que nous appellerons niveau de base, repose une formation molassique de couleur rouge. Cette formation est en légère discordance cartographique (10°), ou repose clairement en discordance angulaire sur le Sénonien (près du village d'Ahjar el Maabbed). Son faciès molassique est tendre, conglomératique avec des éléments figurés de nature variée et de forme anguleuse (60 m).

Au sud de Taounate, où l'épaisseur est réduite à 40 m, la molasse commence par des conglomérats rouges et des grès durs à ciment ferrugineux, et se poursuit vers le haut de la série par des marnes gypsifères grisâtres à verdâtres quelquefois rougeâtres. Le gypse est encaissé dans des fissures de tension de 5 cm en moyenne ouvertes dans les marnes. Les fissures présentent une texture brêchique ou rubannée. Cette structure des marnes gypsifères est un facteur de premier ordre favorable pour les instabilités du versant sud de Taounate par suite des caractéristiques suivantes:

- la circulation différentielle des eaux d'infiltrations séléniteuses dans un matériel relativement imperméable ;
- l'existence des plans de faible résistance mécanique, représentés par les fissures gypsifères.
- Près de la fontaine d'El Kelaa, le massif gréseux basal est surmonté par des conglomérats et des grès roux avant de passer à des marnes gréseuses et sableuses grises et brunes. Ces dernières renferment des Turritelles bien conservés et des traces de lignite ou autre dépôt d'origine organique. 500 m à l'Est du village de Khemalcha, sur le sentier de la crête gréseuse, ces marnes gréseuses affleurent sur une épaisseur de 25 m, signalées par des fragments de turritelles en abondance, dégagées par l'érosion en nappe.

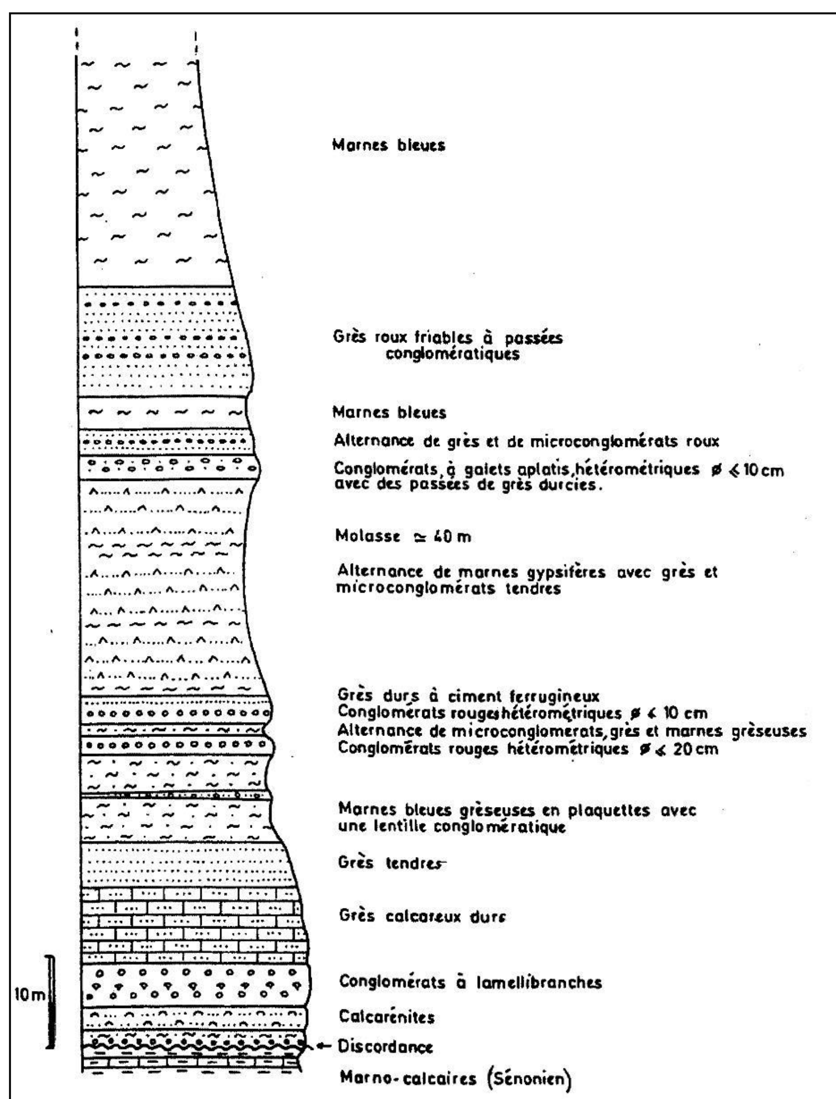


Figure 8: Coupe lithostratigraphique au niveau du Tortonien supérieur au Sud de Taounate, A. Fares (1994)

- ## Les formations quaternaires

L'évolution quaternaire se traduit par un système de six terrasses fluviatiles sur les cours des grands Oueds, datant respectivement du Villafranchien, du Salétien, de l'Amirien du Tensiftien, du Soltaien et du Rharbien (Suter, 1965).

Dans la région de Taounate, les terrasses se développent autour des Oueds Sra et Sahla, et à leur confluence avec l'Oued Ouerrgha au Sud du secteur. Sur les versants, le Quaternaire s'exprime par des dépôts d'origine locale, issus d'une morphogénèse active sur des terrains souvent de nature argileuse. En effet, les sols sont rares sur les crêtes et ne dépassent pas 50 cm, par contre sur le fond des vallons les sols sont épais avec des dépôts d'origine colluvionnaire ou d'anciennes coulées de pente.

II. Etude des caractéristiques hydrologiques des sous-bassins versants de la zone d'étude :

La zone d'étude contient cinq sous bassins versants : Sahla, Sra, Lehma, Essouihil et El Mellah (fig. 9). Ils font partie du grand bassin versant de l'oued Ouergha.

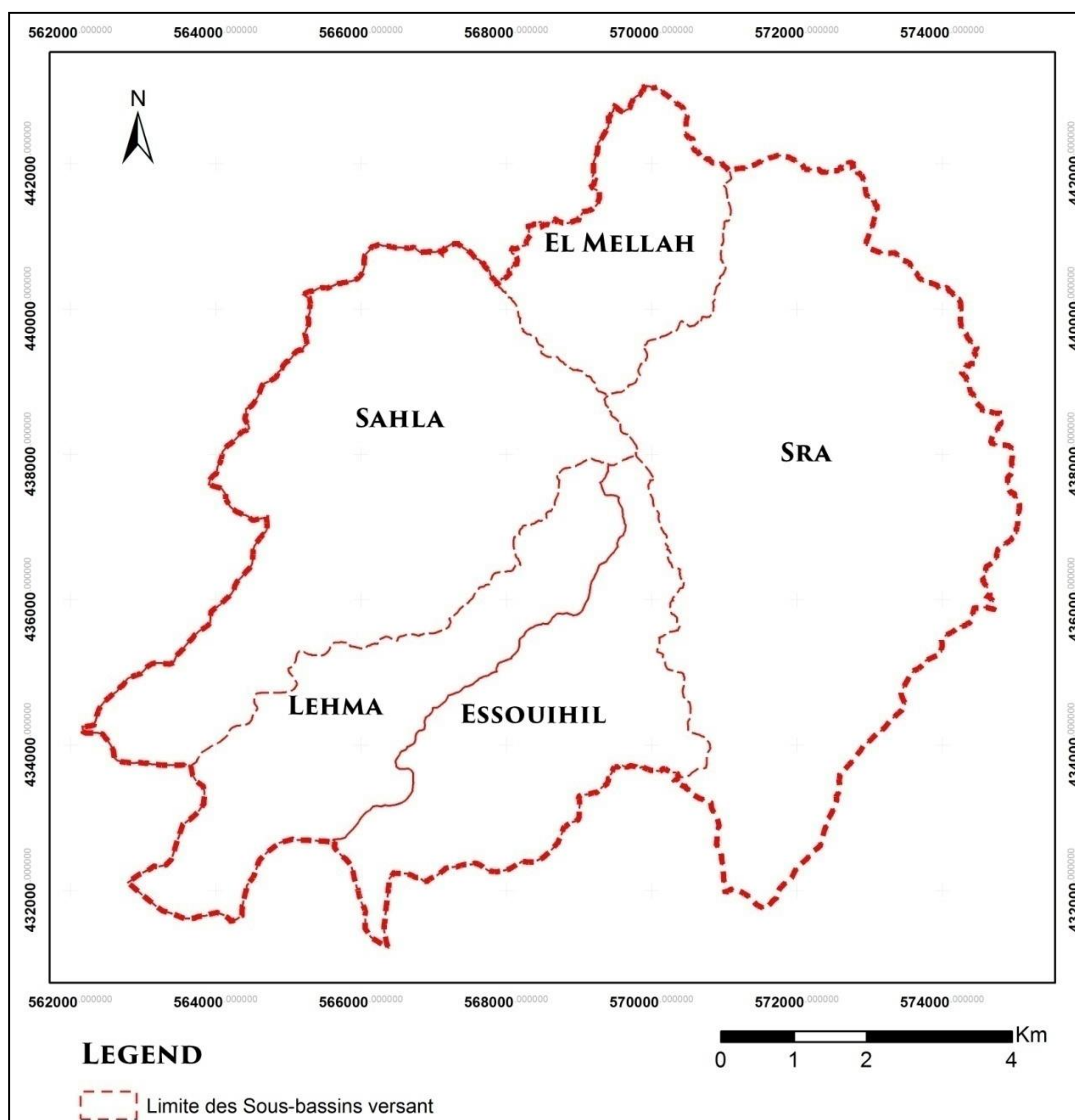


Figure 9: Les sous-bassins versants de la zone d'étude

Un bassin versant est caractérisé par son modelé, sa forme, son relief et par l'organisation géométrique de son réseau de drainage. Le temps de concentration, qui se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et son exutoire, est influencé par ces diverses caractéristiques.

- **Réseau hydrographique**

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Il est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux.

• La géologie : par sa plus ou moins grande sensibilité à l'érosion, la nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique. Le réseau de drainage n'est habituellement pas le même dans une région où prédominent les roches sédimentaires, par comparaison à des roches ignées. La structure de la roche, sa forme, les failles, les plissements, forcent le courant à changer de direction.

• Le climat : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.

• La pente du terrain, détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

• La présence humaine : le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et le changement des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Les sous-bassins versants de la zone d'étude sont caractérisé par un réseau hydrographique assez dense et complexe qui adopte une structure ramifiée ce qui explique une dynamique importante du ruissellement et de l'infiltration de l'eau (Fig.10). Ce réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des canaux de drainage naturels, permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent les eaux provenant du ruissellement principalement et celles restituées par les rares et localisées nappes souterraines, à la faveur des rares et petites sources du secteur ou de restitutions le long des lits des cours d'eaux.

LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE

N

km
0 0.5 1 2

LEGEND

les ordres du reseau hydrographique

7
6
5
4
3
2
1

Limites des sous-BV



Figure 10: Carte du réseau hydrographique

- ## Aire et périmètre

L'aire est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin généralement exprimée en km^2. Le périmètre est la longueur de la ligne de contour du bassin, généralement exprimée en km.

Pour le cas de notre zone d'étude le tableau (1) présente les différentes valeurs de l'aire et périmètre de chaque sous-bassin.

- ## Formes

Les classiques de l'hydrologie proposent, pour caractériser la géométrie d'un bassin versant, différents indices de forme destinés à comparer les bassins voire à estimer certaines de leurs caractéristiques hydrologiques. L'indice auquel il est le plus communément fait référence est l'indice de compacité, dit de Gravelius. Il est défini comme le rapport du périmètre du bassin étudié à celui d'un cercle de même surface.

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration.

Cet indice est tend vers 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire, compact, et considéré comme parfaitement drainé, et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée, Si A est la surface du bassin en km^2 et P son périmètre en km, le coefficient Kc est égal à:

$$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Le tableau (1) représente les valeurs de Kc pour chaque sous-bassin de zone d'étude.

	Superficie (km2)	**Périmètre (km)**	**Kc**
Oued Sahla	7.62	13.4	1.36
Oued Sra	12.28	22.38	1.79
Oued Lehma	11.57	23.03	1.89
Oued Essouihil	23.46	26.53	1.53
Oued El Mellah	33.30	30.10	1.46

Tableau 1: L'aire, le périmetre et et coefficient de gravilus pour chaque sous bassin-versant

Le cas de la zone d'étude on constat que tous les sous-bassins sont allongées, d'où les sous-bassins versants Lehma et Sra sont les plus allongées et le sous bassin versant

Sahla est le moins allongée. Les sous-bassins versants de Sahla Essouihil et Lehma sont allongés dans la direction NE-SW avec une longueur de 8 Km et une largeur varie de 1 á 4 Km. Et le sous-bassin Sra est allongé dans la direction N-S. la longueur atteint 10 km et cela renseigne sur un faible débit de pointe de crue et un ralentissement de rassemblement des eaux et un faible drainage ce qui va diminuer les charges transportées par l'eau et minimiser les cours d'eaux dangereux. Mais cela peut aussi être en faveur de l'érosion car cette forme montre une faible largeur donc le temps d'arrivée des sédiments arrachés des sous bassins versants plus courts.

Par contre. Pour le sous-bassin d'El Mellah, l'allongement est perpendiculaire au cours d'eau principale ce qu'il indique à une largeur plus grand que la longueur.

- **Temps de concentration Tc**

Le temps de concentration permet l'évaluation de la durée du transit nécessaire pour qu'une goute de pluie puisse parcourir le chemin hydrologique entre le point du bassin le plus éloigné de l'exutoire. Le temps de concentration Tc est calculé selon la relation de Kirpich (1940) suivante :

$$T_C = \frac{(0.000325 * L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Tc : Temps de concentration (en h)

L : Longueur maximale du parcours de l'eau dans le bassin versant (en m).

S : Pente longitudinale moyenne du bassin versant, en suivant l'écoulement de l'eau. (m/m)

Le tableau (2) présente les valeurs de Tc pour chaque sous-bassin versant.

Sous-Bassin versant	Longueur du plus long talweg (m)	Pente moy. (m/m)	Tempe de concentration (h)	Tempe de concentration (min)
Sra	15170.11	0.02	2.32	138.92
Sahla	13383.00	0.03	1.99	119.17
El Mellah	3835.99	0.07	0.51	30.63
Lehma	12896.30	0.03	1.87	112.29
Essouihil	10523.51	0.03	1.49	89.41

Tableau 2: Tempe de concentration en h et en min des sous bassins de la zone d'étude

- **Densité de drainage D_d**

La densité de drainage peut être calculée pour tout le réseau hydrographique. Elle est calculée selon la relation de Gravellius suivante :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

∑Li = longueur total des cours d'eau en Km

A = surface du bassin versant en Km²

La cartographie de la densité du réseau hydrographique peut nous renseigner sur les sources du ruissellement et nous donne les zones les plus productrices d'eau et par conséquent d'érosion.

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques. En effet, les secteurs situés en zones de roches perméables ont en général des densités de drainage faibles, alors que les secteurs de roches imperméables ont des densités plus élevées. Les conditions climatiques jouent également un rôle important : les climats ayant des précipitations réparties également tout au long de l'année auront des densités de drainage plus faibles que les régions à climat très contrasté comme les zones semi-arides. Les activités humaines ont parfois un rôle important sur l'évolution hydrologique. Cette influence peut avoir un effet régulateur mais aussi un effet accélérateur du ravinement.

Sous-bassin versant	longueur total des cours d'eau (km)	surface du sous-bassin versant (km2)	Densité du drainage (km/km²)
Sra	220.40	33.30	6.62
Sahla	195.98	23.45	8.36
El Mellah	57.98	7.62	7.61
Lehma	78.89	11.57	6.82
Essouihil	86.53	12.28	7.05

Tableau 3: la densité du drainage

La densité de drainage des sous-bassins versant de la zone d'étude est varie de 6.61 à 8.35 km/Km² (Tableau 3). Ces valeurs indiquent que les sous-bassins étudiés sont fortement ramifiés. La ramification est d'autant plus importante quand le matériel façonné est tendre comme est le cas des marnes tortoniennes et des pélites schisteuses sénoniennes.

- **Climat**

La zone d'étude appartient au domaine méditerranéen qui est caractérisé par deux saisons très contrastées : une saison chaude de mai à octobre et une autre pluvieuse fraiche de novembre à avril, correspondant à la fin d'automne, à l'hiver et au début du printemps

L'analyse climatique de la zone d'étude est basée en toute logique sur les données mensuelles et annuelles des principales stations à proximité de Taounate, notamment la station d'Ain Aicha et la station de Bab Ouender. Les deux stations étant situées à 8.5 km et 11.0 km à vol d'oiseau, respectivement, de la ville de Taounate.

a. Pluviométrie annuelle

L'historique des mesures au niveau de la station de Taounate entre 1932-1987 (actuellement non fonctionnelle) enregistrait une moyenne de 844 mm, tandis qu'à Bab Ouender entre 1956 et 1987 on a enregistré une moyenne annuelle de 850 mm. (Figure 10)

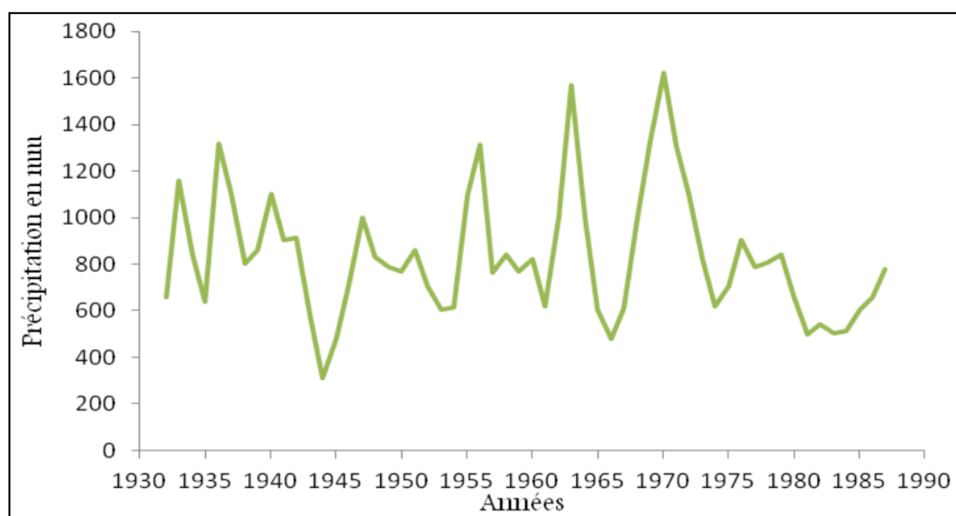


Figure 11: Variations annuelles des précipitations à la station de Taounate 1932-1987 (GEOTECHMED, *2015)*

La moyenne annuelle des précipitations calculée sur une période de 49 ans (1963-2012) au niveau de la station de Bab Ouender est de 718,2 mm.

Alors que pour la station d'Ain Aicha on a une moyenne annuelle de 480 mm entre 1982 et 2012. (Tableau 4)

Cette analyse montre qu'il existe une variabilité inter-annuelle importante des précipitations, laquelle exprime des sursauts aussi bien d'une année à l'autre qu'à l'intérieur d'une même année.

Stations	Période	X	Y	Z	Moyen. (en mm)
BAB OUNDER	1963/2012	579500	440100	312	718,91
AIN AICHA	1982/2012	564800	428800	230	480,87

Tableau 4: Moyennes annuelles des précipitations et localisation des stations pluviométriques les plus proches

b. Pluviométrie mensuelle

Les moyennes mensuelles de précipitations calculées dans les stations Bab ouender et Ain Aicha sont données sur le tableau suivant :

Mois	Ain Aicha (mm)	Bab Ounder (mm)
Janvier.	63,64	109,8
Février.	64,70	104,76
Mars.	48,48	72,55
Avril	52,32	81,02
Mai	28,83	39,36
Juni.	4,41	9,8
Juillet.	0,61	1,66
Août	1,19	1,44
Septembre.	13,61	15,28
Octobre.	47,35	57,58
Novembre.	82,03	99,74
Décembre.	73,64	126,22
Total	480,87	719,21

Tableau 5: Précipitations moyennes mensuelles des stations les plus proches de la ville Taounate : AinAicha et Bab Ouender (GEOTECHMED, *2015*)

Nous remarquons que 90,6 % des précipitations annuelles sont reparties sur 8 mois d'octobre à mai ; les mois les moins pluvieux sont juin, juillet, août et septembre, si on prend la station de Bab Ouender . Les mois considérés secs ne reçoivent donc que 28.18 mm soit 3.9% de la quantité totale annuelle.

Le régime annuel des précipitations est très caractéristique avec une saison humide d'Octobre à Avril et une saison sèche de Juin à Septembre. C'est en décembre que la

pluviométrie est relativement maximale, alors qu'en Juillet et Août elle est minimale. (figure 12 et 13)

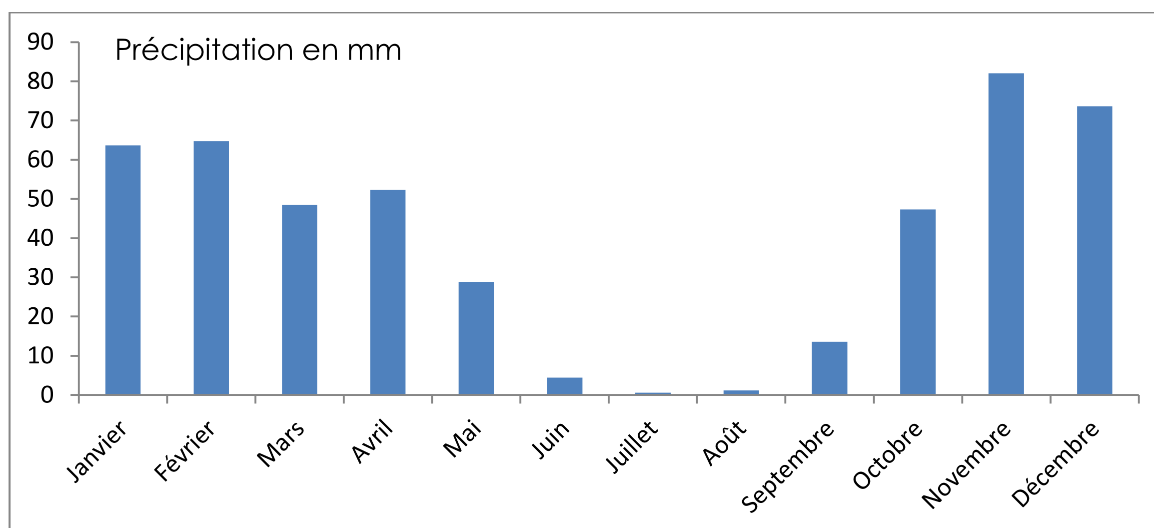


Figure 12: Distribution des précipitations moyennes mensuelles à la station Ain Aicha (1982-2012) (GEOTECH*MED, 2015*).

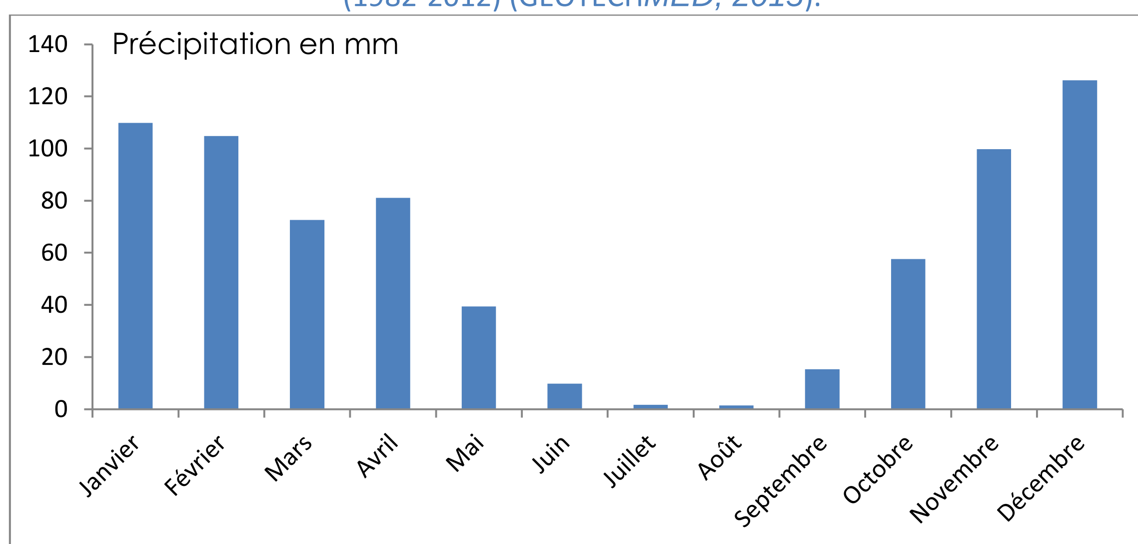


Figure 13: Distribution des précipitations moyennes mensuelles à la station Bab Ouender (1982-2012) (GEOTECHMED, 2015).

- **Température**

Pour la station de Taounate, les données des températures éditées par le service géologique du Maroc en 1971 (Ressources en eau au Maroc-Tome I) révèlent que les températures maximales sont observées pendant la saison estivale avec un maximum de 36.1°C enregistré au mois d'août, alors que la température minimale est de 14.9 °c observée durant le mois de Juin(voir aussi la carte des températures, Figure 14).

Pendant la saison hivernale, la température maximale est de 18,2°C en novembre, alors que le minimum est de 5,5, enregistré en janvier.

Les valeurs de température correspondantes à l'amplitude thermique extrême moyenne au niveau de cette station correspondent à un climat tempéré. La moyenne annuelle des températures au niveau de cette station entre 1933 et 1963 est de 17,4°C.

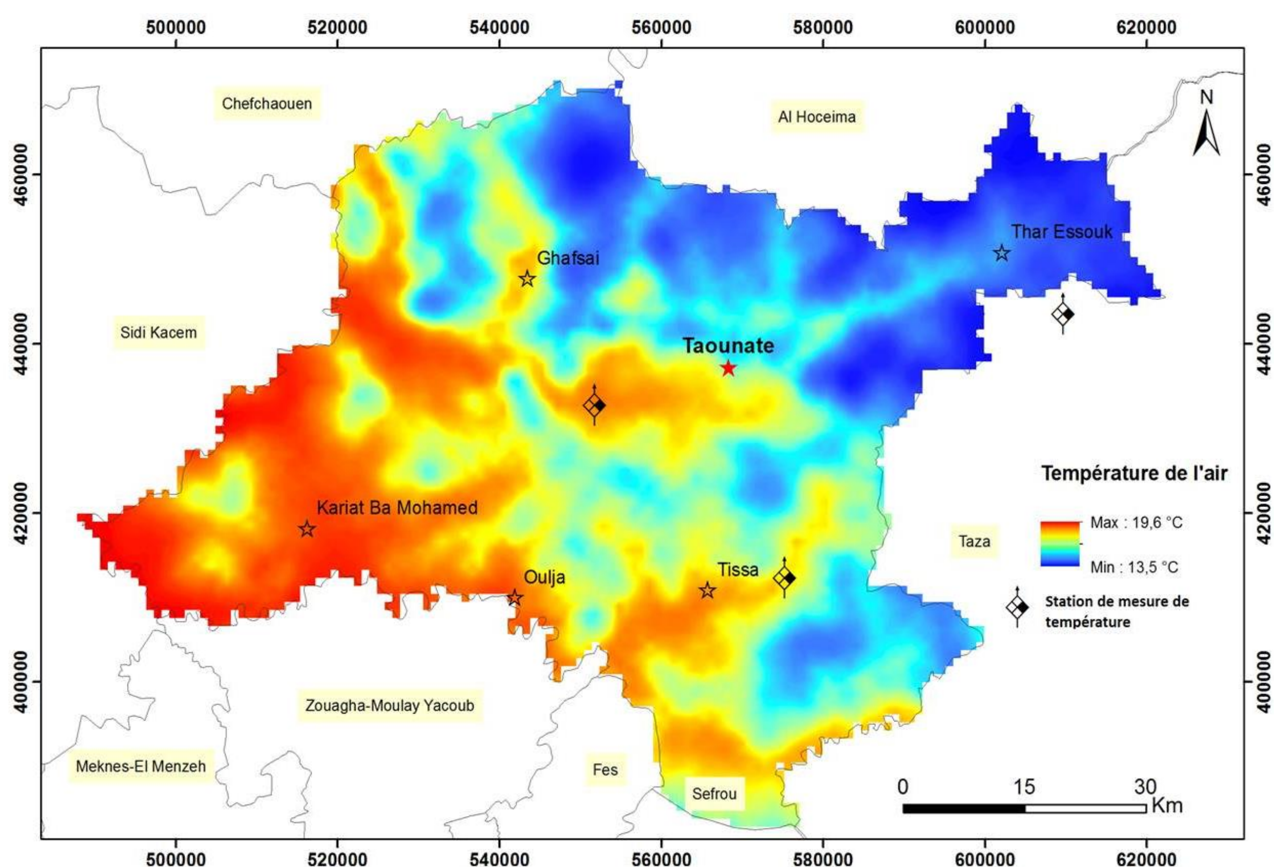


Figure 14: Carte des températures étudie par la méthode de Karigeage au niveau de la province de Taounate (GEOTECHMED, 2015).

III. Caractéristiques topographiques

Le bassin versant est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par le cours d'eau principale et ses affluents, tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée pour poursuivre leur trajet vers l'aval. La dissection opérée par le réseau hydrographique qui façonne les reliefs du bassin est contrôlée par la structure, la disposition des roches et par leur nature.

La plupart des facteurs climatiques et hydrologique varient avec l'altitude, Il est important de déterminer la répartition du bassin versant par des tranches d'altitude et de dégager les différents paramètres du relief

La morphologie de la zone d'étude se caractérise par un relief modéré. Les altitudes les plus élevées sont 799 m à Jbel Aster et 795 m à Jbel Aghil qui sont essentiellement des series shisto-grèseuse. Les altitudes moyennes sont au niveau des séries schisto-gréseuse Barrémo-Albien et des marnes et marno-calcaires Barrémo-Albien. Les basses altitudes présentées par des formations Tortoniens superieur et quaternaires qui sont essentiellement tendres.

L'étude de la répartition des altitudes dans les sous-bassins est effectuée à partir d'une carte en courbes de niveaux, en mesurant et en cumulant les aires situées au dessus (ou en dessous) d'une altitude donnée. On obtient un histogramme de fréquences d'altitudes et une courbe hypsométrique (courbe des fréquences cumulées). (Tableaux 6,7,8,9 et 10 et fig. 15,16,17,18 et 19) Ces données permettent de déduire la plus ou moins maturité du réseau des bassins versants et de l'effet de la tectonique, s'il y en a, sur leurs topographies (Fig. 20).

Classes d'altitudes en (m)	Surface en Km^2	% du totale	% au-dessus de la limite inférieur
< 300	7.2056	21.65	100.00
300-350	7.4357	22.35	78.35
350-400	5.4548	16.39	56.00
400-450	4.1807	12.56	39.61
450-500	3.7689	11.33	27.04
500-550	2.2789	6.85	15.72
550-600	1.514	4.55	8.87
600-650	0.6968	2.09	4.32
650-700	0.4041	1.21	2.23
700-750	0.2368	0.71	1.01
750-800	0.0931	0.28	0.30
> 800	0.007	0.02	0.02

Tableau 6: Pourcentage des classes d'altitude de sous-bassin versant de Sta

Classes d'altitudes en (m)	Surface en Km2	% du totale	% au-dessus de la limite inférieur
< 250	2.1906	9.35	100.00
250-300	7.401	31.58	90.65
300-350	3.9541	16.87	59.08
350-400	2.0196	8.62	42.21
400-450	1.863	7.95	33.59
450-500	2.1859	9.33	25.65
500-550	1.5126	6.45	16.32
550-600	1.051	4.48	9.87
600-650	0.6483	2.77	5.38
650-700	0.3319	1.42	2.62
700-750	0.1947	0.83	1.20
750-800	0.0867	0.37	0.37

Tableau 7: Pourcentage des classes d'altitude de sous-bassin versant de Sahla

Classes d'altitudes en (m)	Surface en Km2	% du totale	% au-dessus de la limite inférieur
< 250	2.4987	21.62	100.00
250-300	6.3977	55.34	78.38
300-350	1.1433	9.89	23.04
350-400	0.5041	4.36	13.15
400-450	0.2427	2.10	8.79
450-500	0.3051	2.64	6.69
500-550	0.1636	1.42	4.05
550-600	0.2033	1.76	2.64
600-650	0.1015	0.88	0.88

Tableau 8: Pourcentage des classes d'altitude de sous-bassin versant de Lehma

Classes d'altitudes en (m)	Surface en Km2	% du totale	% au-dessus de la limite inférieur
< 250	0.6584	5.36	100.00
250-300	5.179	42.20	94.64
300-350	4.1208	33.57	52.44
350-400	1.118	9.11	18.87
400-450	0.4903	3.99	9.76
450-500	0.191	1.56	5.76
500-550	0.1269	1.03	4.21
550-600	0.2915	2.37	3.17
> 600	0.098	0.80	0.80

Tableau 9: Pourcentage des classes d'altitude de sous-bassin versant d'Essouihil

Classes d'altitudes en (m)	Surface en Km2	% du totale	% au-dessus de la limite inférieur
< 400	0.9715	12.76	100.00
400-450	2.8095	36.91	87.24
450-500	2.243	29.47	50.32
500-550	0.8569	11.26	20.85
550-600	0.2724	3.58	9.59
600-650	0.2003	2.63	6.01
650-700	0.1384	1.82	3.38
700-750	0.0719	0.94	1.56
750-800	0.0469	0.62	0.62

Tableau 10: Pourcentage des classes d'altitude de sous-bassin versant d'El Mellah

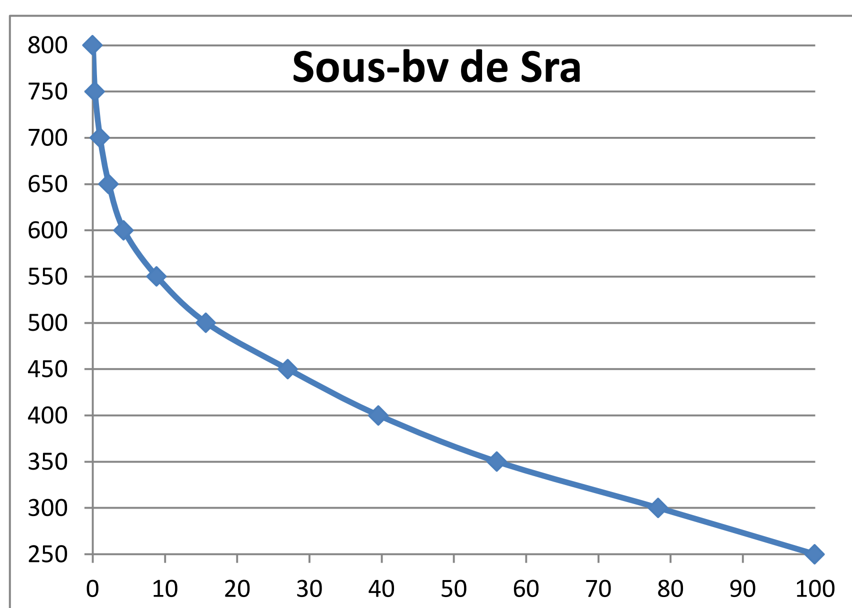


Figure 15: courbe hypsométrique du sous-bassin versant de Sra

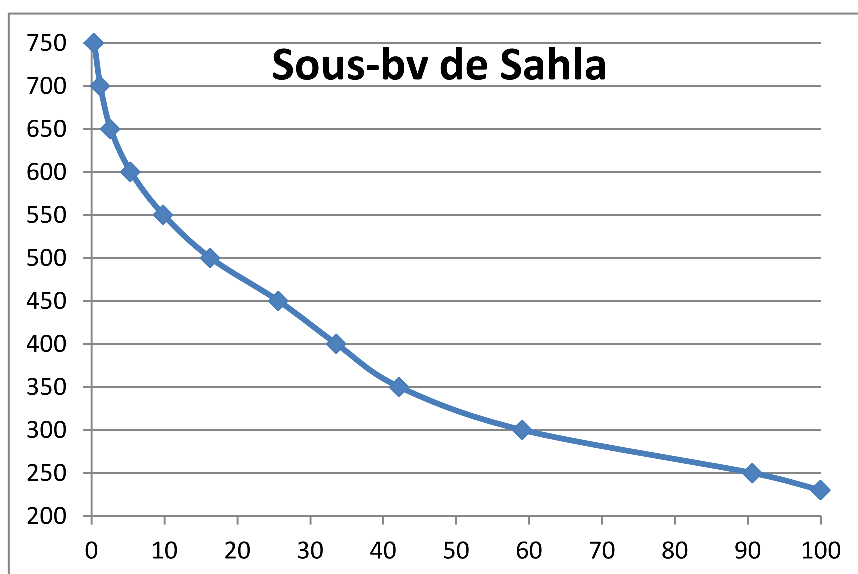


Figure 16: courbe hypsométrique du sous-bassin versant de Sahla

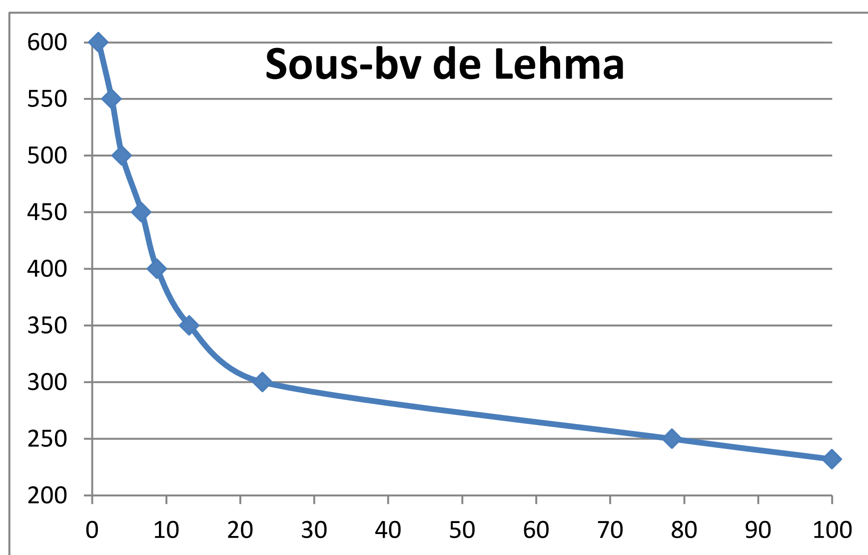


Figure 17: courbe hypsométrique du sous-bassin versant de Lehma

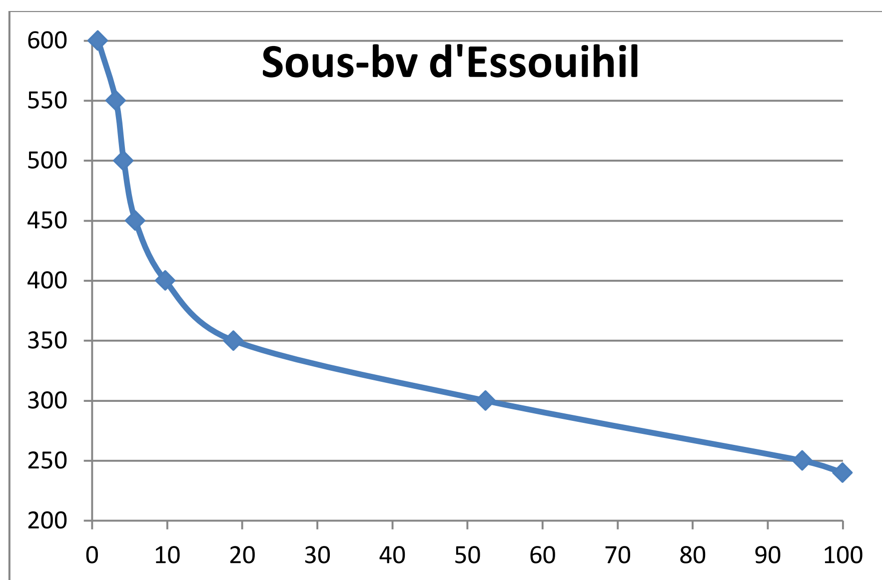


Figure 18: courbe hypsométrique du sous-bassin versant d'Essouihil

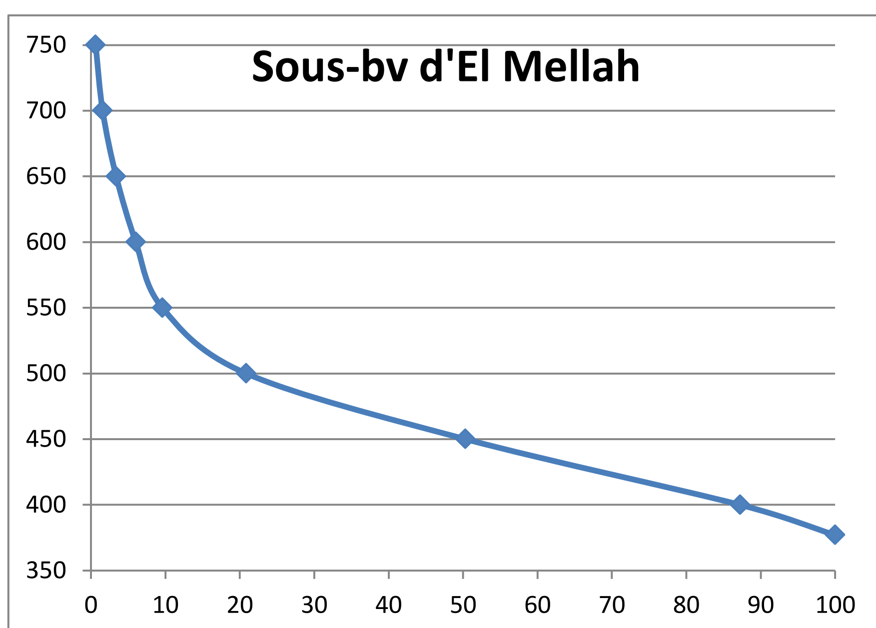


Figure 19: courbe hypsométrique du sous-bassin versant d'El Mellah

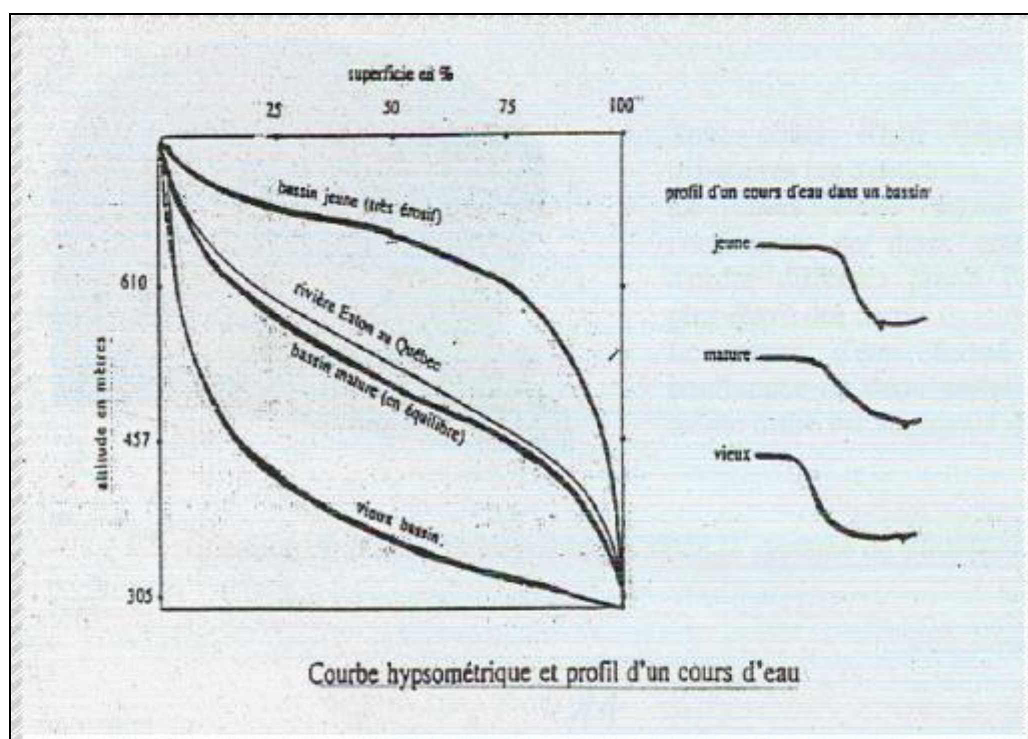


Figure 20: Interprétation de la courbe hypsométrique (Strahler 1952)

Les courbes hypsométriques des sous-bassins de la zone d'étude ont une forme concave, ce qui montre que ces bassins versants sont très évoluées.

PARTIE 2 : Estimation de l'érosion hydrique par la méthode consolidée PAP/CAR.

I. Méthodologie et présentation du PAP/CAR

- **Historique**

L'érosion et la dégradation des sols ont des conséquences majeures sur le milieu naturel et le développement. Les conséquences hydrologiques de cette dégradation sont importantes et parfois catastrophiques. Dans les régions à climat semi-aride ou méditerranéen, la dégradation des sols s'exprime par une diminution de la densité de la végétation, une perte en sol (perte de productivité à long terme), une perte de la matière organique et de la capacité de rétention, et une minéralisation accrue du paysage. Le Centre d'activités régionales pour le Programme d'actions prioritaires (PAP/CAR), agissant dans le cadre du Plan d'action pour la Méditerranée (PAM) du PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement), a entrepris depuis 1984 une action prioritaire intitulée "Promotion de la protection des sols en tant que composante essentielle de la protection de l'environnement dans les zones côtières méditerranéennes". Presque tous les pays méditerranéens, la FAO (Food and Agriculture Organization) et le Centre arabe d'étude des zones arides et des terres sèches (ACSAD) – Damas, ont pris une part active dans ce programme. A la suite d'une phase d'enquête, le PAP, la FAO et l'ACSAD ont formulé une proposition d'un projet de coopération en matière de cartographie et de mesure de l'érosion dans les zones méditerranéennes, et l'ont soumise à la Ve réunion ordinaire des Parties contractantes à la Convention de Barcelone (Athènes, 1987). Cette proposition a été acceptée, et l'Espagne a offert d'accueillir le projet. Les autorités espagnoles ont désigné l'Institut national de conservation de la nature – ICONA (actuellement Direction générale de la conservation de la nature – DGCONA) à Madrid comme institution d'accueil du projet, tandis que la FAO a accepté d'y contribuer en fournissant son appui scientifique et professionnel. Par la suite, le projet a été défini et subdivisé en deux parties, notamment cartographie et mesure des processus d'érosion :

La composante cartographique, réalisée par le PAP, la DGCONA et la FAO, en collaboration avec l'Espagne, la Tunisie et la Turquie, a été close fin 1992 (pour la zone

de Vallcebre en 1995-1996). Les résultats de cette activité, ainsi que la méthodologie de cartographie développée dans son cadre, ont été présentés et discutés lors d'un séminaire tenu à Malaga, en décembre 1992 ;

La composante mesure, réalisée depuis 1993bpar le PAP, la DGCONA et la FAO, a été terminée en 1996. Les résultats de cette activité ont été analysés et discutés lors d'une réunion d'experts tenue à Barcelone, en juillet 1996 ;

Ces deux composantes ont été présentées, discutées et amendées lors d'un atelier de travail organisé à Barcelone du 13 au 16 octobre 1996. Les suggestions et les commentaires faits lors de l'atelier ont été pris en compte lors de la rédaction du texte final des Directives.

La cartographie systématique des caractéristiques qualitatives et dynamique des formes d'érosion permet l'identification de deux grandes catégories de milieux géographiques: les milieux morphologiquement stables, non encore affectés par l'érosion, et les milieux instables actuellement altérés par un quelconque phénomène d'érosion ou de dégradation physique. Pour ce qui est de la première catégorie où l'érosion active ne s'est pas encore manifestée, on procède à l'évaluation qualitative de l'érosion potentielle, ou risque d'érosion, en identifiant sur le terrain les divers paramètres pris en considération pour la carte de base prédictive du statut érosif, et en évaluant leur force "déstabilisante" relative. Cette opération devrait aboutir, pour chaque cas spécifique, à l'identification des principaux facteurs causaux les plus probables de différents degrés de risques d'érosion exprimés sur la carte au moyen de codes et de symboles. En ce qui concerne les aires déjà affectées par l'érosion, la cartographie descriptive et qualitative de l'érosion identifie la nature du processus érosif spécifique, son importance relative exprimée en termes d'extension spatiale, de dimension, profondeur ou volume, et de sa tendance évolutive et/ou taux d'expansion basé sur des observations de terrain indiquant soit une récession, soit une recrudescence de l'activité érosive

- **Schéma méthodologique général**

PAP/CAR est une méthode d'étude qualitative de l'érosion hydrique qui permet d'hiérarchiser la surface d'un bassin versant en unités distinctes selon la vulnérabilité à l'érosion et de déterminer les zones les plus fragiles potentiellement pourvoyeuses de sédiments. La méthode consiste on une cartographie descriptive et prédictive consistant à l'identification, l'évaluation et l'intégration des facteurs physique de base, tels que la

pente, la lithologie et/ou les sols et le couvert végétal, dans le but d'établir des hypothèses de départ concernant le risque d'érosion La méthode consiste en une superposition d'abord d'un ensemble de cartes dont certaines sont une représentation de l'effet combiné de certains facteurs, c'est la phase prédictive. Elaborer ensuite la carte de l'érosion réelle, c'est la phase descriptive puis valider les résultats en superposant les deux cartes obtenues. Le schéma de la cartographie commune consolidée de l'érosion est le résultat de deux approches complémentaires, Cartographie et Mesure. En ce qui concerne la première composante, elle est fondée sur la base de trois approches, Une approche est prédictive, consistant à identifier, évaluer et intégrer tous les paramètres physiques, tels la pente, la lithologie, le couvert végétal, dans le but de tirer des hypothèses préliminaire concernant le risque d'érosion. L'objectif de cette phase est le traitement de données selon une séquence de 7 opérations différentes:

Opérations 1 et 2: Elaboration des cartes des classes de pentes et de lithofaciès.

Opération 3: Carte d'érodibilité par superposition des cartes des pentes et des lithofaciès.

Opérations 4 et 5: Élaboration des cartes d'occupation du sol et de couvert végétal.

Opération 6: Carte de protection des sols par superposition des cartes d'occupation du sol et de couvert végétal.

Opération 7: Carte des états érosifs par superposition des cartes d'érodibilité et de protection des sols.

Une approche descriptive consistant à décrire et à faire une évaluation qualitative des processus actuels et actifs. Elle est en principe réalisée par l'observation directe et le contrôle sur le terrain, en utilisant la carte prédictive des états érosifs comme canevas cartographique et thématique de référence. L'observation sur le terrain doit être appuyée par la photo-interprétation, particulièrement au cours des étapes préliminaires qui consistent en l'identification des degrés de stabilité, des processus érosifs dominants et des tendances évolutives à l'intérieur des différentes unités d'érosion

Cette méthode permet d'identifier deux grandes catégories de milieux géographiques: les milieux morphologiquement stables non affectés par l'érosion, et les milieux instables, affectés par divers processus d'érosion ; la procédure combinée d'observation de terrain et d'identification des processus se déroulera en trois opérations:

- Définition des degrés de risque/potentiel d'érosion des milieux stables/instables.
- Définition des types de processus érosifs dominants, de leur intensité relative et des tendances évolutives pour les milieux instables.
- Identification et évaluation des particularités locales telles que les principales zones sujettes à l'érosion ou les facteurs causaux sont plus spécifiques

Il s'agit dans cette phase principalement de l'évaluation qualitative qui doit être considérées comme complémentaires à la phase prédictive.

Une approche d'intégration dont le résultat principal est la carte finale consolidée de l'érosion hydrique, obtenue grâce à la superposition et la consolidation de toutes les données prédictives et descriptives contenant les informations complètes sur les différents aspects des phénomènes d'érosion. . La deuxième composante est conçu compte tenu des caractères hydrologiques et géoécologiques des zones méditerranéennes, notamment, les petites dimensions des unités géoécologique uniformes, la diversité de la géologie et de la topographie (pentes abruptes et micro-climats contrastés suivant l'orientation), l'utilisation très ancienne des terres par l'homme (végétation dégradée, micro-topographie modifiée, réseau de ravins dues à l'intervention humaine) et les brefs épisodes de pluies intenses qui peuvent être précédés et suivis de longues périodes de sécheresse. Les paramètres à tenir en compte selon le PAP/CAR sont: Le taux d'érosion, le taux d'apport de sédiments, l'efficacité de piégeage et la capacité de transport.

Pour la technologie, ils ont convenu que la meilleure solution consiste à choisir des instruments de mesure faisant appel à la technique digitale électronique la plus moderne,

Pour toutes les phases de superposition et d'intégration, il est recommandé d'utiliser le SIG comme un outil efficace et hautement approprié au processus de prise de décisions.

II. Approche prédictive :

L'approche prédictive, consistant à identifier, évaluer et intégrer tous les paramètres fondamentaux, tels la physiographie (pentes), la lithologie et/ou les sols, la terre, le couvert végétal, dans le but de déterminer des hypothèses préliminaires concernant le risque d'érosion.

La superposition de la carte des unités et classes topographiques des pentes et de la carte lithologique où l'accent est mis sur la résistance mécanique et le degré de cohésion des différentes lithofaciès permet d'hiérarchiser le bassin versant en degré d'érodibilité. La superposition de la carte de l'occupation du sol cartographiée sur le terrain et la carte du degré de couvert végétal déterminent les degrés de protection du sol.

Pour chaque carte, le facteur est représenté en plusieurs classes. On affecte pour les différentes classes des valeurs qui correspondent aux degrés d'influence du facteur sur l'érosion.

Des cartes de degrés de protection des sols, de degrés d'érodibilité et la carte finale des états érosifs de la phase prédictive est le résultat de la superposition et de la corrélation

- **Elaboration de la carte d'érodibilité :**

La carte d'érodibilité prend en compte deux facteurs:

- les valeurs de pentes;
- les formations superficielles (lithologie);

La complexité et l'interdépendance des facteurs déterminants de l'érosion se prêtent très bien à une analyse par croisements de la carte des unités et classes topographiques des pentes et de la carte lithologique où l'accent est mis sur la résistance mécanique et le degré de cohésion des différentes lithofaciès, Autrement, on superpose la vitesse d'altération et d'ameublissement d'un substrat avec l'inclinaison de la topographie qui va contrôler les quantités des éléments préparés pour le départ et celles des éléments qui vont contribuer au développement du sol. La carte d'érodibilité permet aussi de mieux approcher et apprécier la sensibilité à l'érosion des différentes unités du bassin versant. La combinaison de ces facteurs aboutie à la réalisation en fin d'étape à la carte d'érodibilité et de la carte des états érosifs. Pour l'élaboration de la carte d'érodibilité, nous commençons par expliquer les étapes de réalisation de la carte des pentes puis,

celle des lithofaciès. La superposition de ces dernières va constituer la carte d'érodibilité, qui est une combinaison des entités de chaque carte. Cettea combinaison nécessite la réalisation d'un algorithme qui permet de combiner les valeurs de la carte des pentes et celles de la carte des lithofaciès pour faire sortir le degré d'érodibilité suivant les classes propres aux directives PAP\CAR.

a. Réalisation de la carte des pentes

L'érodibilité des affleurements rocheux affecte surtout le produit d'altération de ces roches or l'épaisseur du manteau d'altération dépend de la pente. Sur les pentes faibles le manteau d'altération a le temps de se développer et de s'épaissir alors que sur les pentes fortes il est constamment amincit par l'érosion c'est pourquoi la pente est un facteur important dont il faut tenir en compte dans l'érodibilité.

La carte des pentes a été élaborée grâce au logiciel SIG. La procédure de réalisation de la carte des pentes commence par la digitalisation des courbes de niveaux présentés sur la carte topographique, la transformation de ces courbes a un forme de triangulation, puis la rastérisation de ce dernier pour obtient le model numérique du terrain (MNT). Par l'outil « Slope » on extrait la carte des pentes. Un reclassement des valeurs de pente en 5 classes est résumé dans le tableau 11.

Classe	Type de pente
1	Nulle à faible (0-3%)
2	Modérée (3%-12%)
3	Abrupte (12%-20%)
4	Très abrupte (20%-35%)
5	Extrême (>35%)

Tableau 11: Classes de pentes

A partir de l'analyse de la base de données de la carte des pentes on a réalisé le tableau suivant qui représentent les superficies relatives à chaque portion, ainsi que les surfaces cumulées des différentes classes de pente.

Classes	Codes	Superficies en km2	Fréquences cumulées	% des surfaces	% cumulés
0-3	1	15.56	15.56	17.64	17.64
3- 12	2	17.75	33.31	20.12	37.76
12- 20	3	15.32	48.62	17.36	55.13
20- 35	4	20.06	68.69	22.75	77.87
>35	5	19.51	88.20	22.13	100.00
Total		88.20		100.00	

Tableau 12: Superficies, fréquences et fréquences cumulées en fonction des classes de pentes

Les résultats obtenus montrent que tous les classes représentent presque 20% pour chaqu'un d'eux. Ainsi que la courbe surfaces cumulées a une forme linéaire avec une médiane située au niveau de la classe 3, ce qui montre l'existence de toutes les classes de pente.

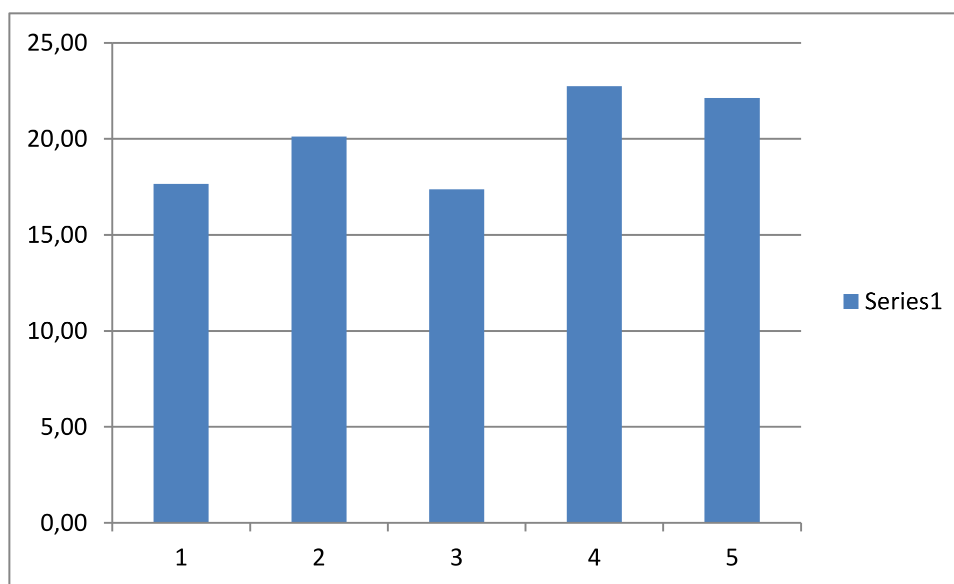


Figure 21: Histogramme des superficies des pentes en Km² de la zone d'étude.

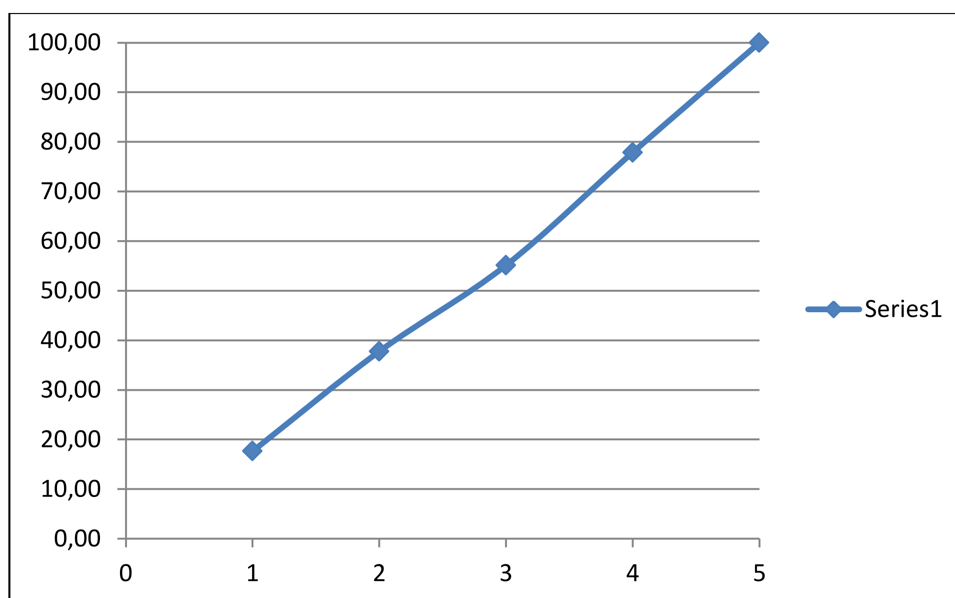
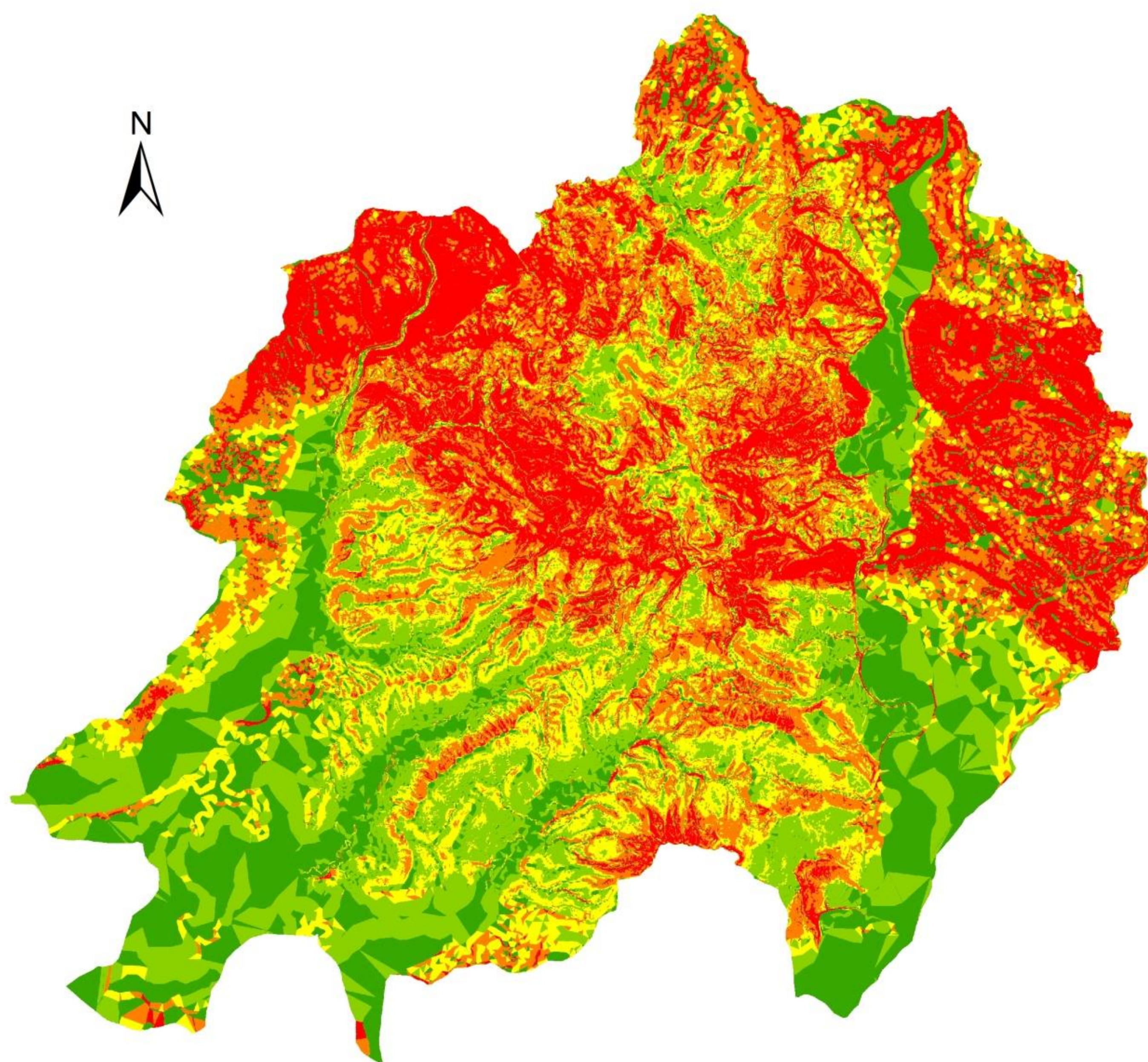


Figure 22: Courbe des % cumulés des surfaces des pentes de la zone d'étude

La carte des classes de pente renseigne sur la variation de la raideur des pentes, cette variation joue un rôle très important car elle peut influencer le degré d'érosion. (Sur les pentes faibles les sols sont moins vulnérables à l'érosion). Cette carte montre que les pentes très abruptes et extrêmes, se concentrent dans les parties Nord. Elles sont caractérisées par un relief accidenté surtout au niveau des massifs montagneux. Les pentes abruptes se distribuent sur toute la carte. Les pentes faibles à très faibles correspondent à les parties avales des sous-bassins.

CARTE DES PENTES



km
0 0.5 1 2

LEGEND

Type de pente

- Nulle à faible (0-3%)
- Modérée (3%-12%)
- Abrupte (12%-20%)
- Très abrupte (20%-35%)
- Extrême (>35%)

Figure 23: Carte des pentes selon les classes propres au PAP/CAR

b. Réalisation de la carte des lithofaciès

La carte des lithofaciès a été réalisée sur la base de la carte lithologique de Taounate. La démarche consiste à identifie les différents types de roches ou de sédiments/sols de surface, classés selon leur degré relatif de cohésion et de résistance mécanique et technique à l'érosion.

En se basant sur la vulnérabilité de substrats à l'érodibilité. Cette carte montre la répartition des terrains en fonction de leur degré de friabilité. Les différentes affleurements on été répartis en 5 classes et on a affecté un code a chaque degré de friabilité ; 1 pour les roche dures et progressivement 2, 3 ,4 et 5 pour les roches de moins en moins dures suivant le tableau :

Classes de lithofaciès	Type de matériel
1(a)	Roches compactes non altérées, conglomérats fortement cimentés, croûtes, affleurements de grès ferrugineux (calcaires, dolomies, Barres gréseuse, ophiolites).
2(b)	Roches ou sols cohésifs fracturés ou modérément altérés, flyshes modérément altérables par leur comportement argileux.
3(C)	Roches ou sols sédimentaires faiblement ou modérément compactés (Pélites et marnes).
4(d)	Roches et/ou sols peu résistants ou fortement/profondément altérés (colluvions, dépôts de pentes et gypse).
5(e)	Sédiment ou sol meuble, non cohésif et matériel détritique (alluvions argiles).

Tableau 13: Classes des lithofaciès

Le traitement de la base de donnée a permet la réalisation du tableau suivant, dans lequel figure les pourcentages des superficies ainsi que les surfaces cumulées des différentes classes de lithofaciès.

Classe de lithofaciès	Superficie en Km²	%des superficies	Surface cumulée en Km²	% cumulée
1(a)	5.60	6.35	5.60	6.35
2(b)	15.07	17.08	20.67	23.43
3(C)	37.97	43.04	58.64	66.47
4(d)	9.42	10.68	68.06	77.15
5(e)	20.16	22.85	88.22	100.00
Total	88.22	100.00		

Tableau 14: Classe de lithofaciès en fonction des superficies des pourcentages et des pourcentages cumulés

L'Histogramme des fréquences des surfaces en fonction des classes lithologiques montre que La majeure partie de la zone d'étude est constituée par la classe 3(c), soit plus de 43%, avec 22% de classe 5(e) et 17.08% de la classe 2(b). Les classes, 1(a) et 4(d) ne dépassent pas 25.76% de la superficie totale du bassin. Toute cette donnée montre que notre bassin témoigne d'une lithologie qui ne va pas résister longtemps face aux contraintes naturelle et anthropiques.

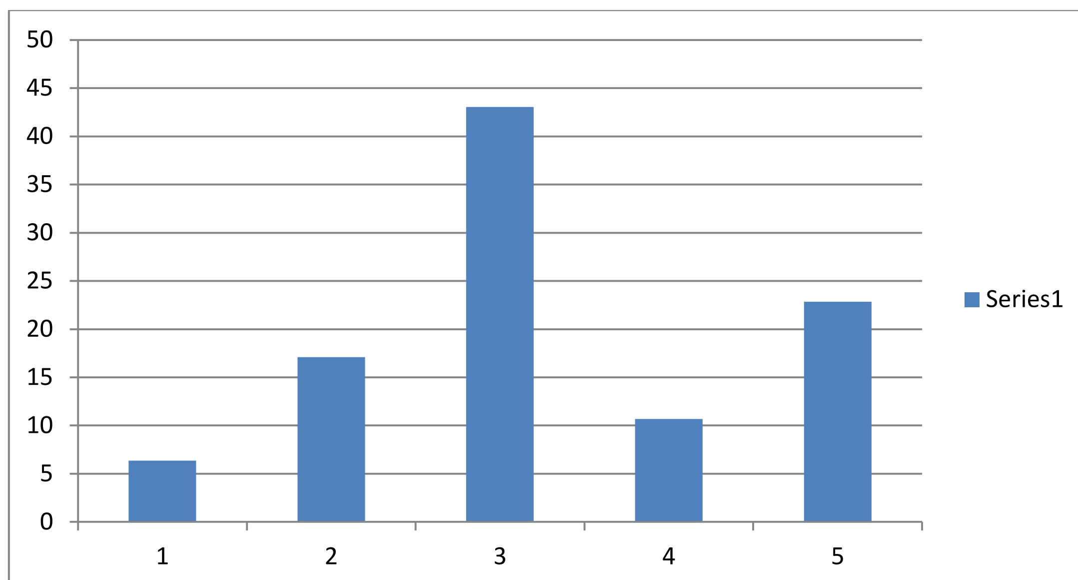


Figure 24: Histogramme des fréquences des surfaces en fonction des classes lithologiques

Ainsi l'analyse de la courbe des fréquences cumulées montre que la médiane n'atteint pas la classe 3(c), se qui confirme que plus de 50 % des terrains de la zone d'étude sont faiblement ou modérément compactés et de faible résistance mécanique.

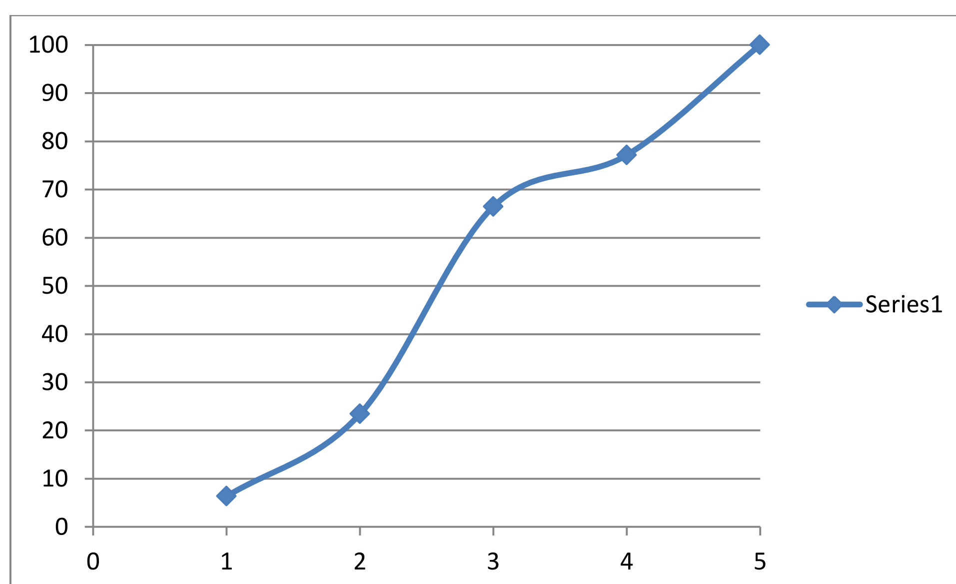
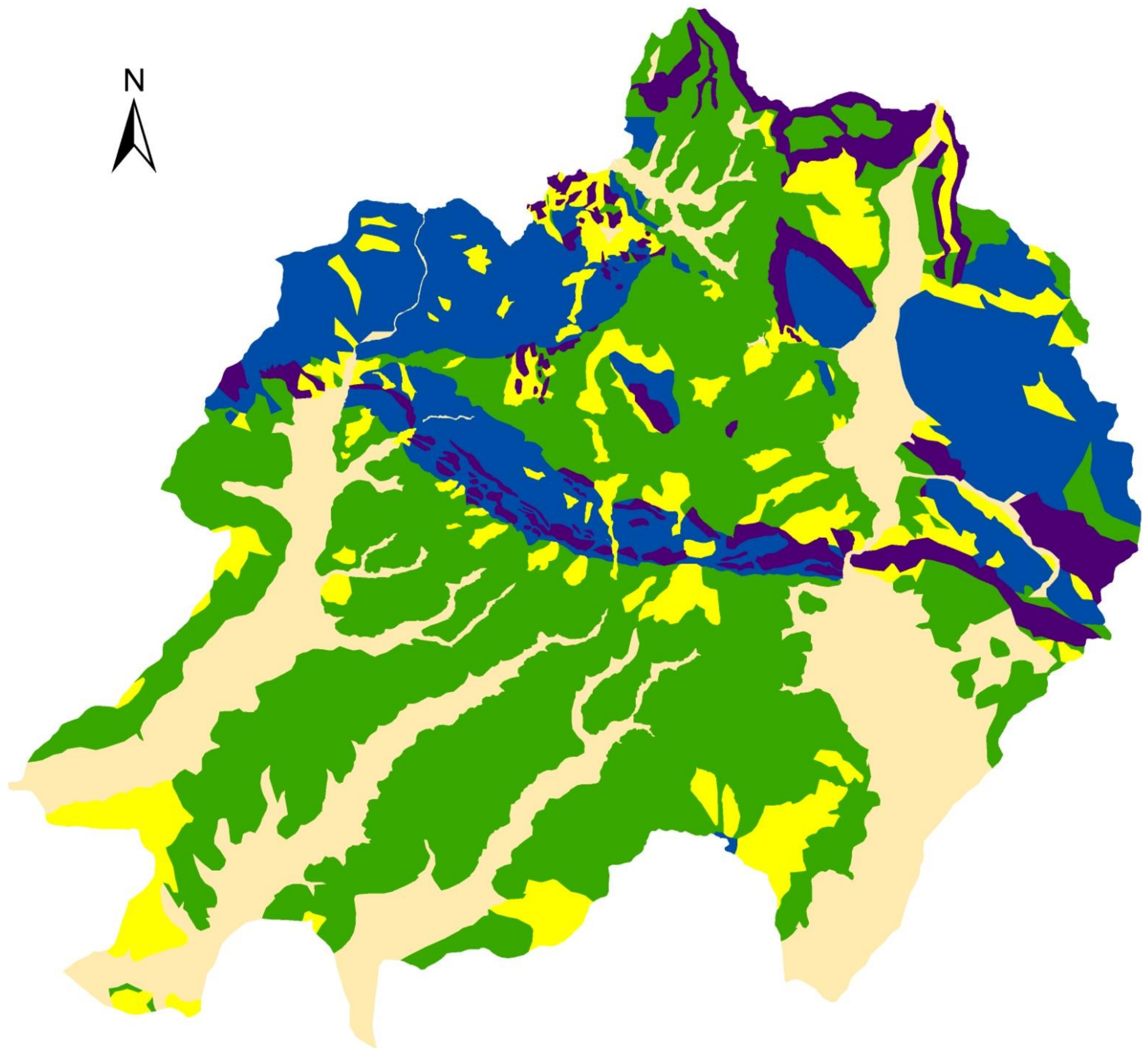


Figure 25: courbe des fréquences cumulées

La carte de la lithologie aperçue que La majeure partie du bassin est constituée par les Roches ou sols sédimentaires faiblement ou modérément compactés, qui sont dispersés dans toute la carte. Roches ou sols cohésifs fracturés ou modérément altérés se trouvent essentiellement aux parties amont des sous bassins versants de la zone d'étude. Les roches compactes non altérées sont peu nombreuses et se trouvent à la partie nord. Les roches ou sols peu résistants se trouvent au niveau des pentes raides. Les sédiments ou sols meubles se déposent sur les parties avals des sous-bassins versants.

CARTE DES LITHOFACIÈS



LEGEND

1(a) Roches compactes non altérées, conglomérats fortement cimentés, croûtes, affleurements de grès ferrugineux

2(b) Roches ou sols cohésifs fracturés ou modérément altérés, flyshes modérément altérables par leur comportement argileux

3(c) Roches ou sols sédimentaires faiblement ou modérément compactés

4(d) Roches et/ou sols peu résistants ou fortement/profondément altérés

5(e) Sédiment ou sol meuble, non cohésif et matériel détritique

km
0 0.5 1 2

Figure 26: Carte des lithofaciès.

c. *Réalisation de la carte d'érodibilité*

La superposition de la carte des unités et classes topographiques des pentes et de la carte lithologique où l'accent est mis sur la résistance mécanique et le degré de cohésion des différentes lithofaciès permet d'hiérarchiser le bassin versant en degré d'érodibilité

Les polygones résultant de la superposition des deux cartes de référence sont classés suivant la matrice montrée au tableau suivant :

Classes de pentes	Classe de lithofaciès				
	1(a)	2(b)	3(c)	4(d)	5(e)
1	1(EN)	1(EN)	1(EN)	1(EN)	2(EB)
2	1(EN)	1(EN)	2(EB)	3(EM)	3(EM)
3	2(EB)	2(EB)	3(EM)	4(EA)	4(EA)
4	3(EM)	3(EM)	4(EA)	5(EX)	5(EX)
5	4(EA)	4(EA)	5(EX)	5(EX)	5(EX)

Tableau 15: Dégrées d'érodibilité

Classes	Erosion potentielle
1	Faible (EN)
2	Modérée (EB)
3	Moyenne (EM)
4	Forte (EA)
5	Extrême (EX)

Tableau 16: Classes d'érodibilité

Apres la superposition de la carte de lithofaciès et la carte des pentes on obtient la carte d'érodibilité sur laquelle figure la répartition des terrains érodés. Le traitement de la base de données de la carte résultante nous a permis de dégager plusieurs informations notamment sur en ce qui concerne les superficies relatives à chaque classe

Classes d'érodibilité	Superficie en Km²	% des superficies	% cumulé des superficies
1 (EN)	6.26	7.09	7.09
2 (EB)	18.46	20.94	28.03
3 (EM)	26.02	29.51	57.54
4 (EA)	26.67	30.24	87.78
5 (EX)	10.77	12.22	100.00
Total	88.19	100.00	

Tableau 17: Classe de lithofaciès en fonction des superficies des pourcentages

L'histogramme de fréquences des superficies en fonction des classes d'érodibilité montre que les superficies les plus représentatives sont ceux appartenant aux classes 4(EA), 3(EM) et 2(EB) d'érodibilité forte, moyenne et modérée avec des superficies de

26.6 Km², 26 Km^2 et 18.4 Km² respectivement, pour les classes d'érodibilité extrême 5(EX) et faible 1(EN), elles ne dépassent pas 17 Km². Cela aura de grave répercussion à long terme si la qualité de protection est faible

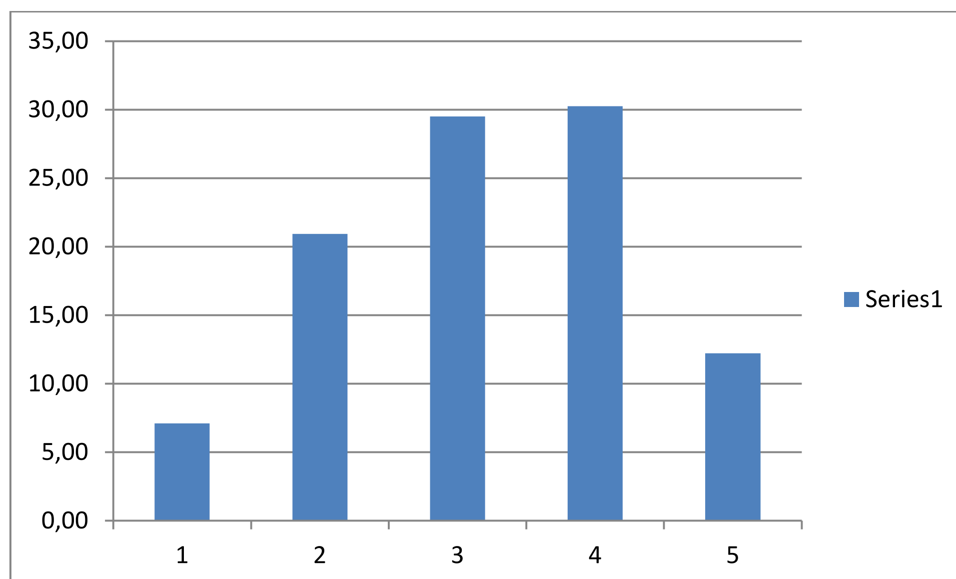


Figure 27: Histogramme de fréquences des superficies en fonction des classes d'érodibilité

La courbe des pourcentages des fréquences cumulées à montré que la médiane se trouve au niveau de la classe 3(EM) et que la majorité des terrains ont un potentiel d'érosion élevé.

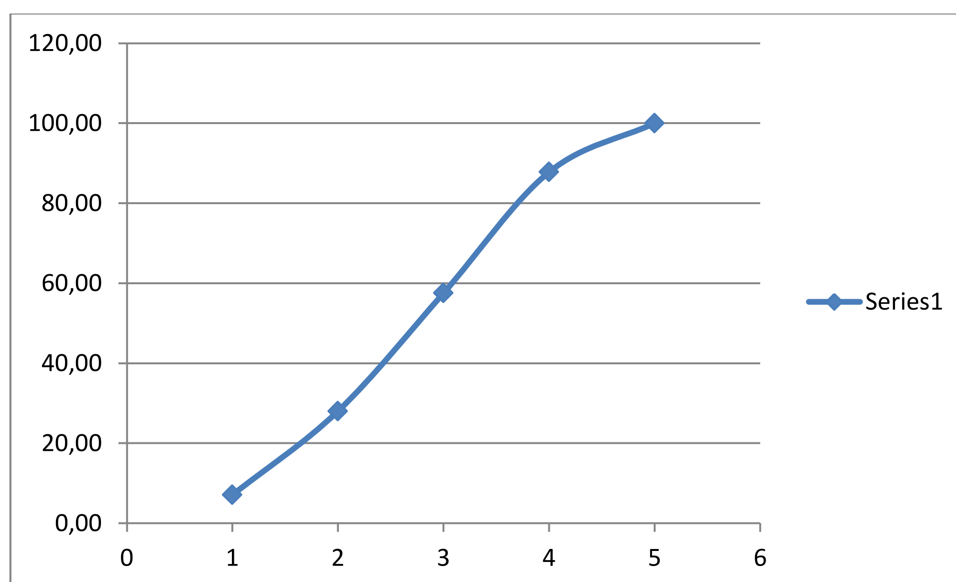
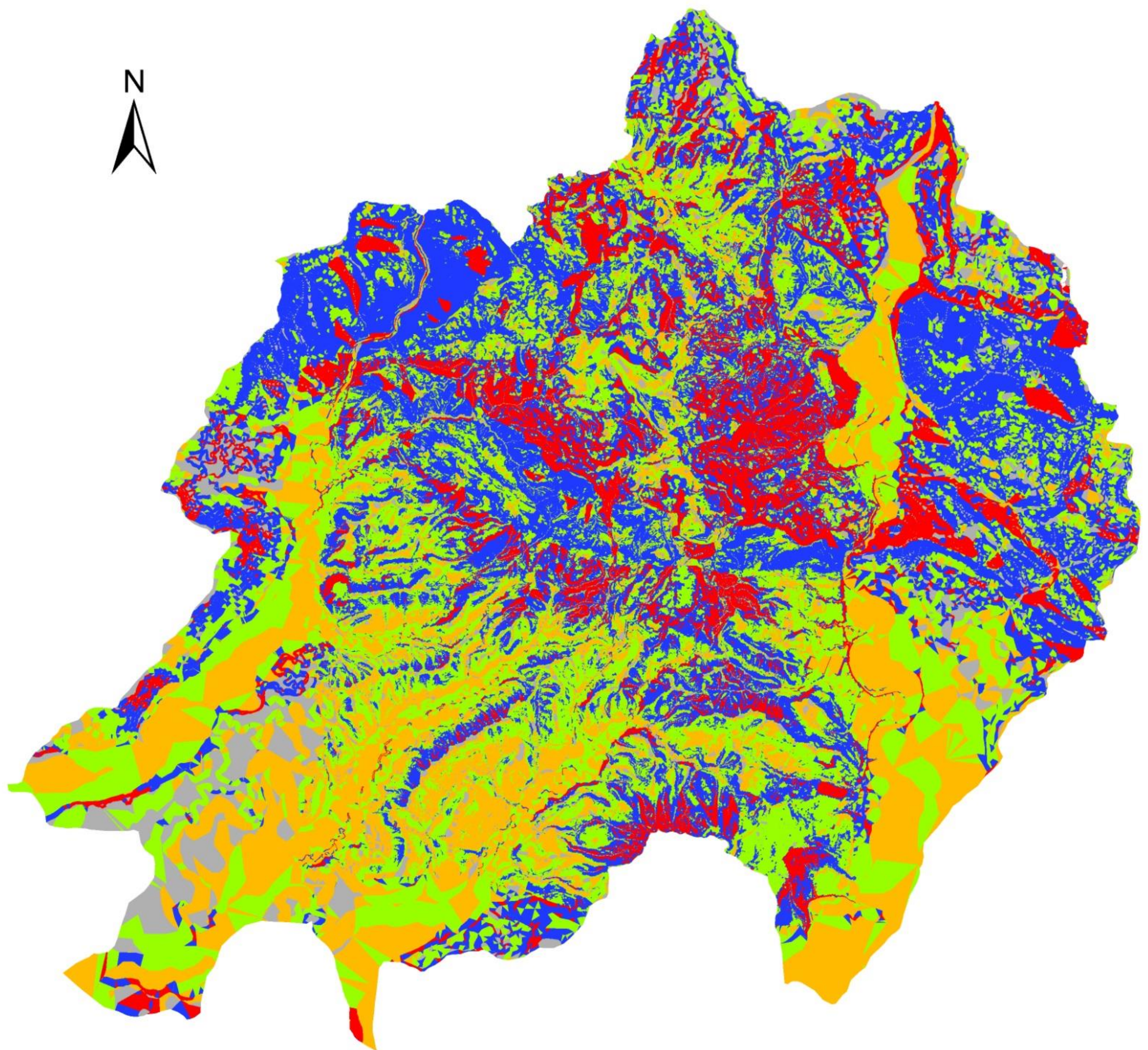


Figure 28: Courbe des fréquences cumulées de l'érodibilité de la zone d'étude

La carte de degré d'érodibilité indique que là où la pente est forte et/ou le terrain est de faible résistance, l'érodibilité est toujours extrême. Cela peut être observé au niveau de la partie amont à Jbel Aster à ce niveau malgré les lithofaciès plus au moins résistant en remarque que la présence des pentes fortes rend cette partie de plus en plus érodable. Au contraire dans le versant Sud la situation est moins inquiétante car les classes d'érodibilité qui dominent sont soit faibles ou modérée. Dans ce secteur les faciès montrent une résistance moyenne mais des pentes modérées cela à mettre cette partie dans les classes modérée à moyenne. On peut expliquer cette répartition par la présence de pente modérée qui a atténué le degré d'érodibilité La partie intermédiaire est touchée par un moyen à fort degré d'érodibilité qui est du a une combinaison d'une pente forte à escarpée avec des sols cohésifs fracturés ou modérément altérés. Au niveau des parties aval l'érodibilité est faible a modéré, est liée à une faible pente et un faciès de faible à moyenne résistance.

CARTE D'ÉRODIBILITÉ



LEGEND

Erosion potentielle

- 1 (EN) Faible
- 2 (EB) Modérée
- 3 (EM) Moyenne
- 4 (EA) Forte
- 5 (EX) Extrême

0 0.5 1 2 km

Figure 29: la Carte d'érodibilité

- **Elaboration de la carte de protection des sols**

La carte de protection des sols est réalisée à partir de la superposition de la carte d'occupation des sols et celle des proportions de recouvrement par le couvert végétal. En ce qui concerne la première, elle a pour objectif de diviser le terrain en polygones selon le type de couvert végétal (matorral claire ou dense, forêt, reboisement …) ou de culture (arboriculture, culture sèche, culture intensive maraîchage …). La seconde quand à elle, tient compte de la densité du couvert végétal. Elle a pour objectif de corriger la carte d'occupation des sols. La matrice qui va permettre cette superposition ne peut pas être appliqué ailleurs car elle est adapté aux conditions bioclimatique méditerranéenne, la réalisation de cette matrice à fait objet de plusieurs années d'étude de corrélation et d'atelier. Le rôle essentiel que joue cette matrice est qu'elle permet de tenir compte des différentes dégradations du couvert dans le temps et dans l'espace.

a. Réalisation de la carte d'occupation des sols

La carte du couvert végétale et l'occupation des sols à été réalisé à partir la photo aérienne et la carte topographique de la zone d'étude.

Classes	Occupation du sol
1	Culture sèche (herbacée)
2	Culture en ligne (oliviers, amandiers, arbres fruitiers, vignobles)
3	Irrigation
4	Forêts
5	Arbustes denses
6	Arbustes clairsemés, pâturages

Tableau 18: Classes d'occupation du sol

Le traitement de la base de donnée a permet la réalisation du tableau suivant, dans lequel figure les pourcentages des superficies ainsi que les surfaces cumulées des différentes classes de l'occupation des sols.

Code	superficie en Km^2	fréquences cumulées	% des surfaces	% cumulés
1	28.89	28.89	32.74	32.74
2	26.89	55.78	30.48	63.23
3	1.94	57.73	2.20	65.43
4	1.29	59.01	1.46	66.89
5	2.42	61.43	2.74	69.63
6	26.79	88.23	30.37	100.00
Total	88.23		100.00	

Tableau 19: Table des classes de superficie et de des pourcentages des superficies

La table de données permet de dégager plusieurs informations concernant les pourcentages des superficies. On remarque que les classes les plus rencontrées sont celles de Culture sèche, Culture en ligne et Arbustes clairsemés avec 28.89Km², 26.89 Km2 et 26.79 Km2 ² respectivement ce qui veut dire 93.9% de la superficie total. Les arbustes denses les irrigations et les forets sont étalés sur une surface de 5,34 Km² et ne représente que 6 % de la superficie total.

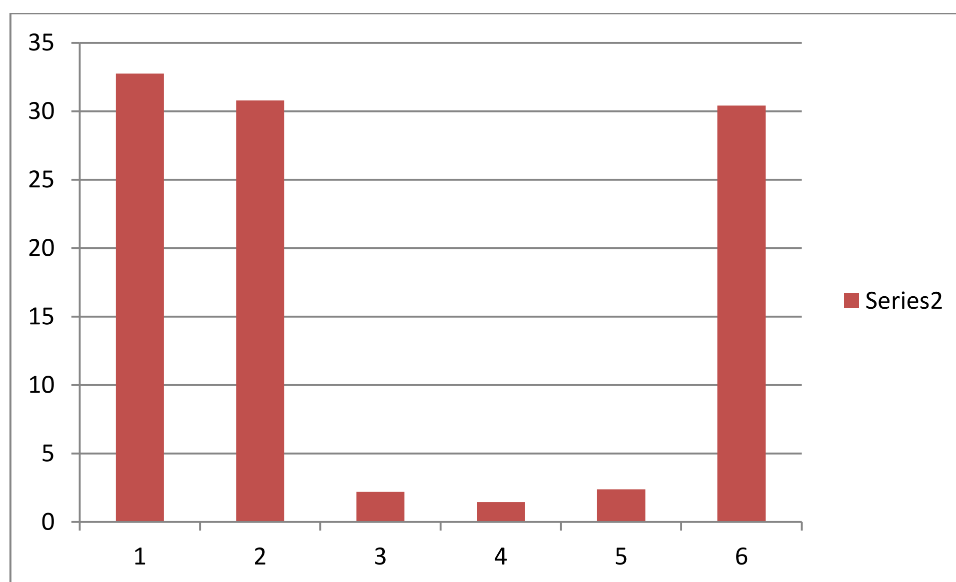


Figure 30:histogramme des classes d'occupation en fonction des superficies en Km²

La répartition des différents types d'occupation des sols montre que la partie nord de la zone d'étude comporte essentiellement la Culture en ligne et la partie sud comporte les Cultures sèches et les arbustes clairsemés, les pâturages et les terrains nus. Les autres types sont présentés essentiellement au niveau des avals des sous-bassins versants. A partir de cette répartition on peut dire que la partie amont et mieux protégée par présence marquée de forêts naturelle que la partie aval. Il reste à vérifier une fois la superposition est faite avec la carte de la densité de couverture.

CARTE D'OCCUPATION DES SOLES

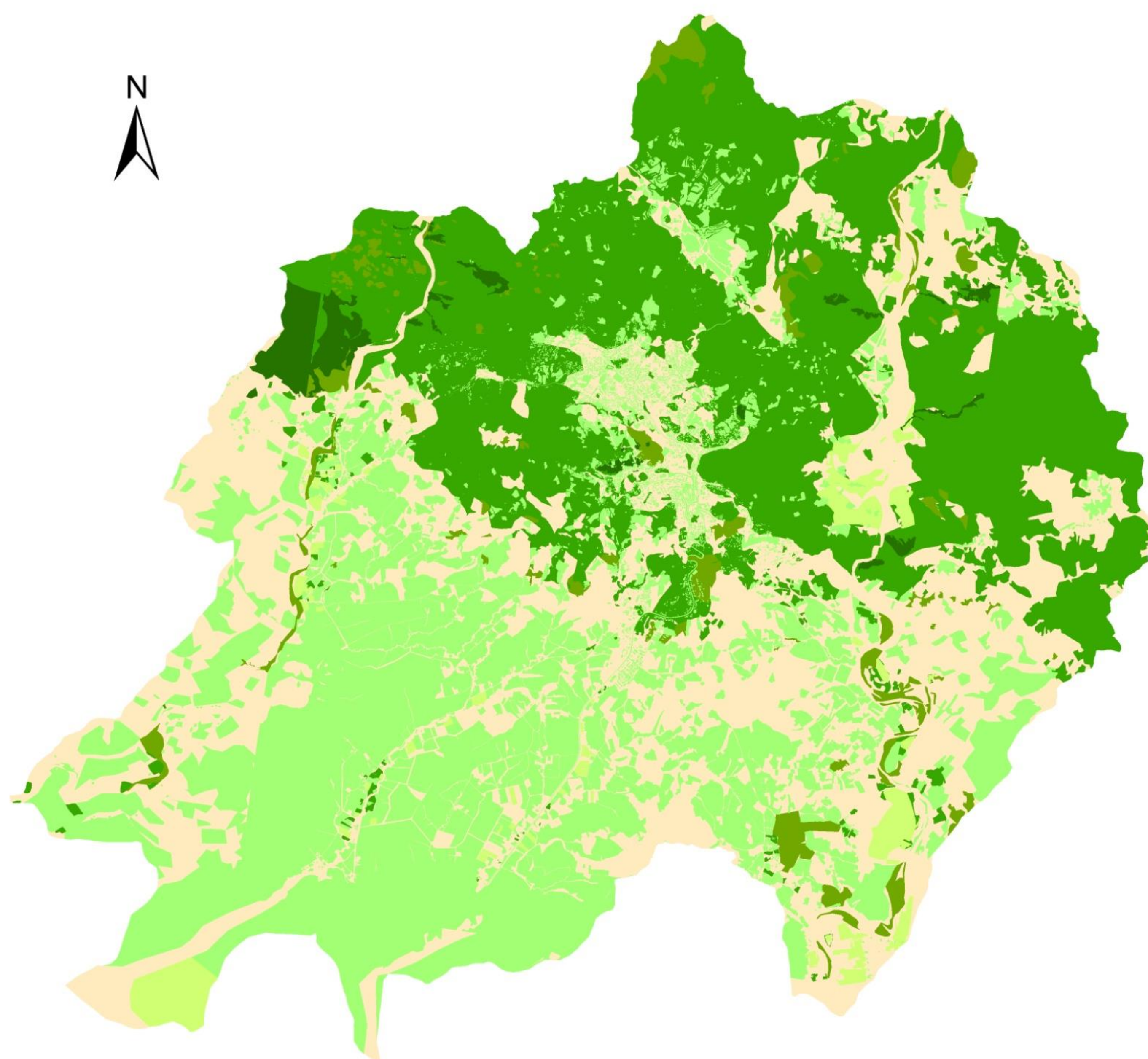


Figure 31: Carte d’occupation des sols

b. Réalisation de la carte de densité de recouvrement :

La carte de densité de recouvrement a été réalisée a partir de la photo aérienne de Taounate. Le résultat est une cartographie de la zone d'étude en polygones selon la densité de recouvrement Selon les classes du PAP/CAR on a choisie de hiérarchiser le bassin versant suivant 4 classes.

Classes	Degré de couvert végétal
1	Inférieur à 25%
2	25% – 50%
3	50% – 75%
4	Supérieur à 75%

Tableau 20: Classes d'occupation du sol

Cette carte permet d'une part de corriger la carte d'occupation des sols, d'autre part tenir compte d'un facteur qui joue un rôle clé dans le maintien de la résistance des sols, car, plus le couvert végétal est dense plus la protection du sol et meilleure contre l'action des pluies.

Le tableau suivant figure les pourcentages des superficies ainsi que les surfaces cumulées des différentes classes de degré de couvert végétal.

Code	Classe	Superficie en Km²	les surfaces cumulées	% des surfaces	% cumulé
1	Inférieur à 25%	52.64	52.64	59.69	59.69
2	25% – 50%	5.72	58.37	6.49	66.18
3	50% – 75%	26.87	85.24	30.46	96.64
4	Supérieur à 75%	2.96	88.20	3.36	100.00
Total		88.20		100.00	

Tableau 21: Classe superficie et pourcentage de superficie du degré de densité du couvert végétal

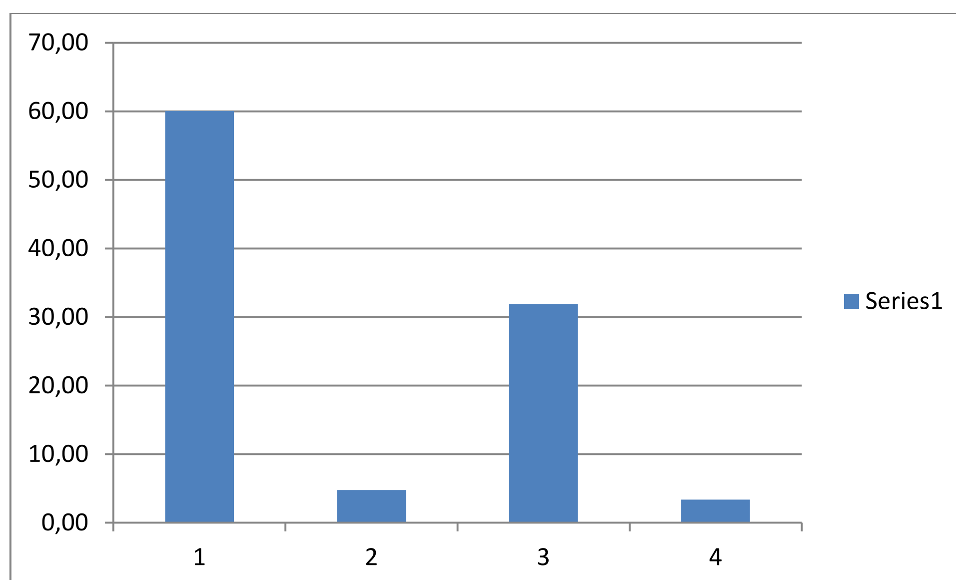


Figure 32: histogramme des classes de degré de couvert en fonction des superficies

L'Histogramme des classes de degré de densité du couvert végétal en fonction des superficies montre que La valeur la plus fréquente est la classe 1 (< 25 %) avec une superficie de 52.64 Km². La classe 3 (50 – 75) représente la surface de 26.87 Km². Les valeurs les moins représentées sont les classes 2 (25 – 50) et 4 (>75%) avec une superficie de 8.68 Km². Tenant compte de la courbe des fréquences des surfaces cumulées du degré de couvert végétale, en remarque qu'elle confirme que plus de 59 % de la superficie du terrain présente une faible densité de couverture. Donc le sol va être d'autant plus vulnérable à l'érosion hydrique.

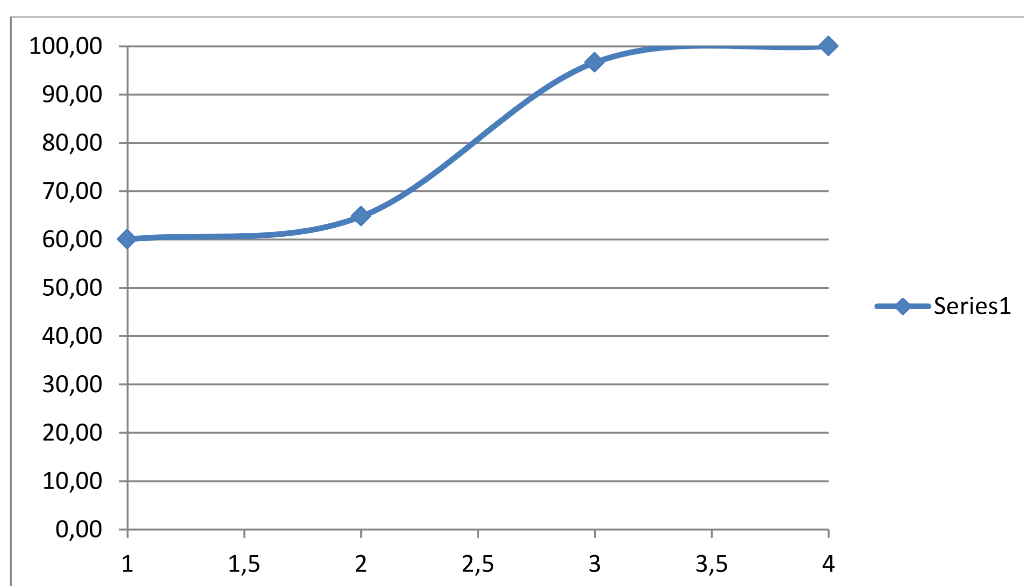


Figure 33: Courbe de fréquence des superficies cumulée du degré de couverture

La répartition de ces classes au sein de la zone d'étude montre que les densités faibles sont présentées dans presque toute la zone, les parties sud représentent les terrains de faible densité. A partir de ces informations, compte tenu du facteur densité de couvert végétal on peut dire que les sous-bassins versants de la zone d'étude présente une très faible protection d'où une grande vulnérabilité à l'érosion

CARTE DE DENSITÉ DE RECOUVREMENT

N

km
0 0.5 1 2

LEGEND

degré de couvert végétal



Figure 34: Carte de densité de recouvrement

c. Elaboration de la carte de protection des sols

L'élaboration de la carte de degrés de protection des sols est faite à partir de la superposition de la carte d'occupation des sols et la carte de densité de recouvrement. L'objet de cette carte est d'hiérarchiser la zone d'étude selon le degré de protection. L'utilité de cette étape s'avère nécessaire dans la mesure où elle permet de détecter les zones à faible ou à forte protection et par conséquence les zones noires qui nécessitent des interventions urgentes et rapide par le reboisement pour fixer et stabiliser le sol

Les polygones résultant de la superposition des 2 cartes de référence sont classés suivant la matrice montrée au tableau suivant qui permet de faire sortir le degré de protection voulue selon les classes d'occupation des sols et du pourcentage de recouvrement

Occupation du sol	**Couvert végétal**			
	1	2	3	4
1	5(TB)	5(TB)	4(B)	4(B)
2	5(TB)	5(TB)	4(B)	3(M)
3	3(M)	2(A)	1(TA)	1(TA)
4	4(B)	3(M)	2(A)	1(TA)
5	5(TB)	4(B)	3(M)	2(A)
6	5(TB)	4(B)	3(M)	2(A)

Tableau 22: Matrice: Occupation du sol vs. Couvert

Classes	**Degrés de protection des sols**
1	Très élevé (TA)
2	Elevé (A)
3	Moyen (M)
4	Faible (B)
5	Très faible (TB)

Tableau 23: Légende de degrés de protection

Le traitement de la base de données a permis de dériver le tableau suivant, à partir duquel on a réalisé l'histogramme des classes de degré de protection en fonction des superficies, qui montre que la zone d'étude est très mal protégée. La valeur la plus fréquente est celle de la classe 5, avec une superficie de 54 Km² ce qui fait 61 % de la superficie total du bassin. Après vient la zone 4 qui a un faible degré de protection par 34.59 %. Les autres classes ne dépassent guère 5 %.

Classes de protection	Surfaces en Km²	Fréquences cumulées	% des superficies	% cumulé
1(TA)	1.29	1.29	1.46	1.46
2(A)	1.94	3.23	2.20	3.66
3(M)	0.40	3.63	0.45	4.11
4(B)	30.51	34.14	34.59	38.70
5(TB)	54.06	88.20	61.30	100.00
Total	88.20		100.00	

Tableau 24: Table de données relatives au degré de protection des sols

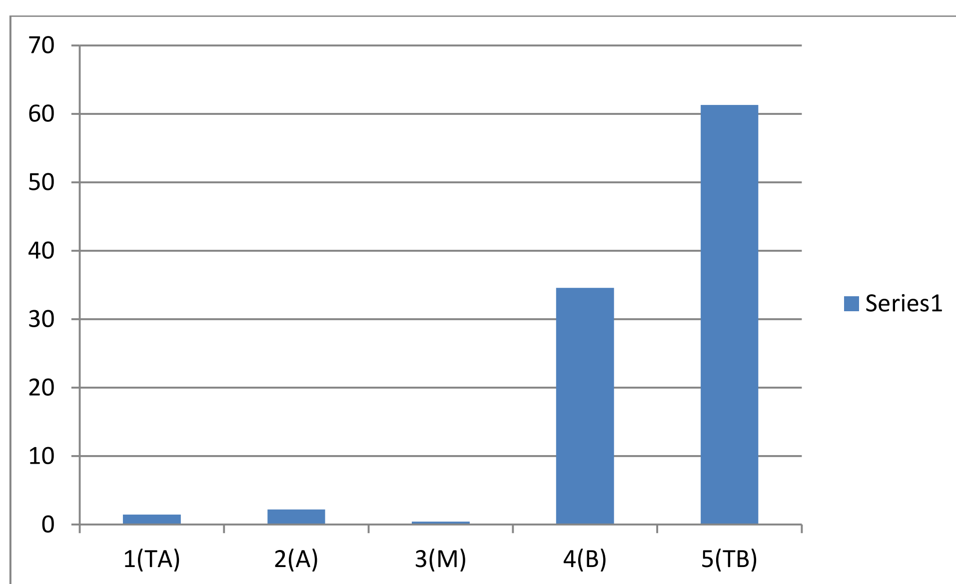


Figure 35: Histogramme des superficies de degré de protection

L'analyse de la courbe des fréquences cumulées montre que la médiane se trouve au niveau de la classe 4 (B), se qui confirme que plus de 90 % de la superficie totale de la zone d'étude se situe à un degré de protection faible à très faible.

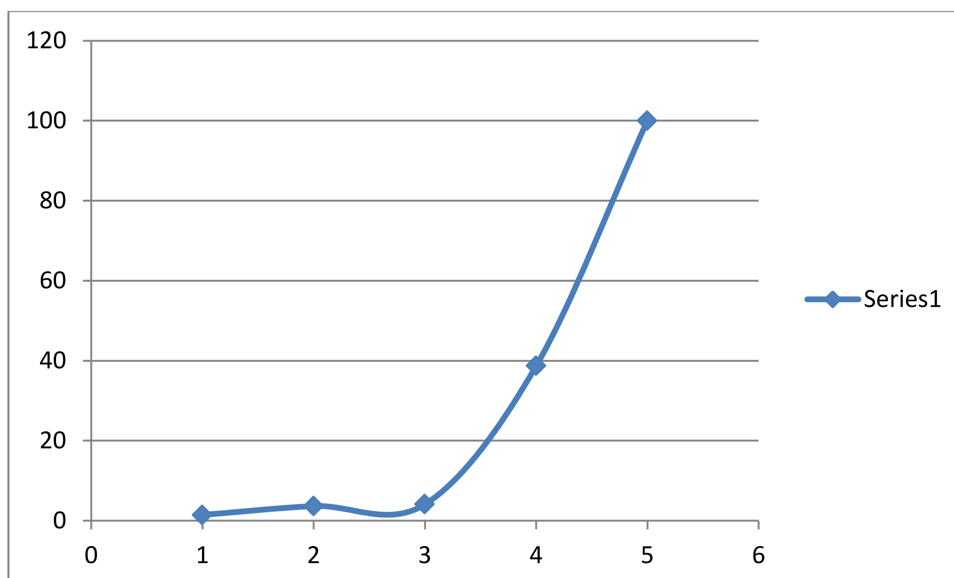


Figure 36: Courbe de fréquence des superficies cumulée du degré de protection.

La carte de répartition des classes de protection du sol montre que les zones de très faible protection 5(MB) et 4 (B) se trouvent partout dans la zone d'étude, surtout les parties aval. Les zones de protection élevée sont rarement rencontrées et elles sont localisées dans la partie amont au niveau de jbel Aster.

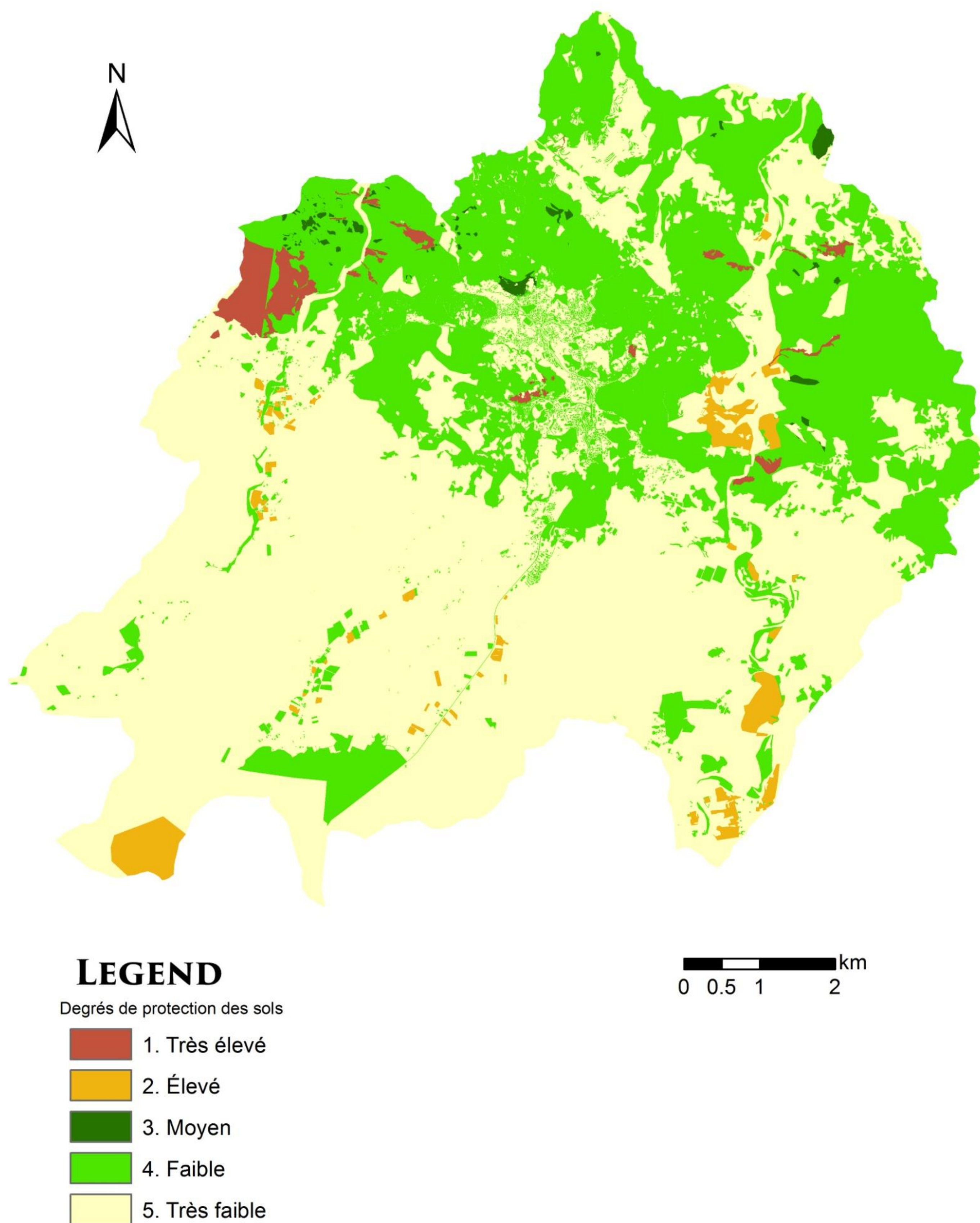


Figure 37: Carte de protection des sols.

- **Elaboration de la carte des états érosifs**

C'est la carte de synthèse de la dernière étape, obtenue après superposition des produits cartographiques précédents. Les polygones résultant vont être classés selon la matrice (Tableau 25).

Degré de protection des sols	Degré d'érodibilité				
	1(EN)	2(EB)	3(EM)	4(EA)	5(EX)
1(MA)	1	1	1	2	2
2(A)	1	1	2	3	4
3(M)	1	2	3	4	4
4(B)	2	3	3	5	5
5(MB)	2	3	4	5	5

Tableau 25 : Degré de protection des sols et Degré d'érodibilité

Codes	Degrés des états érosifs:
5	Très élevé
4	Elevé
3	notable
2	Faible
1	Très faible

Tableau 26: codification des états érosifs

Le traitement de la base de données a abouti à la réalisation du tableau suivant qui montre les classes en fonction des superficies, pourcentage de superficie et superficies cumulées. A partir de ce tableau on a réalisé l'histogramme des fréquences qui montre que la classe la plus représentative est celle de l'érosion « Très élevé » avec 35,6 Km² et 40,48% de la superficie totale du bassin versant. En ce qui concerne les classes du degré d'érosion moyenne et élevé, elles représentent 24,98 Km² et 18,49 Km^2 respectivement, ce qui correspond à 28,33% et 20,9% de la superficie total. Les classes des degrés faibles et très faibles représentent 9 Km² et 10% de la superficie totale de la carte. Cela montre que la zone d'étude présente un degré d'érosion notable. Cela aura beaucoup de répercussion sur la productivité des sols et par conséquence la qualité de vie des populations de la région.

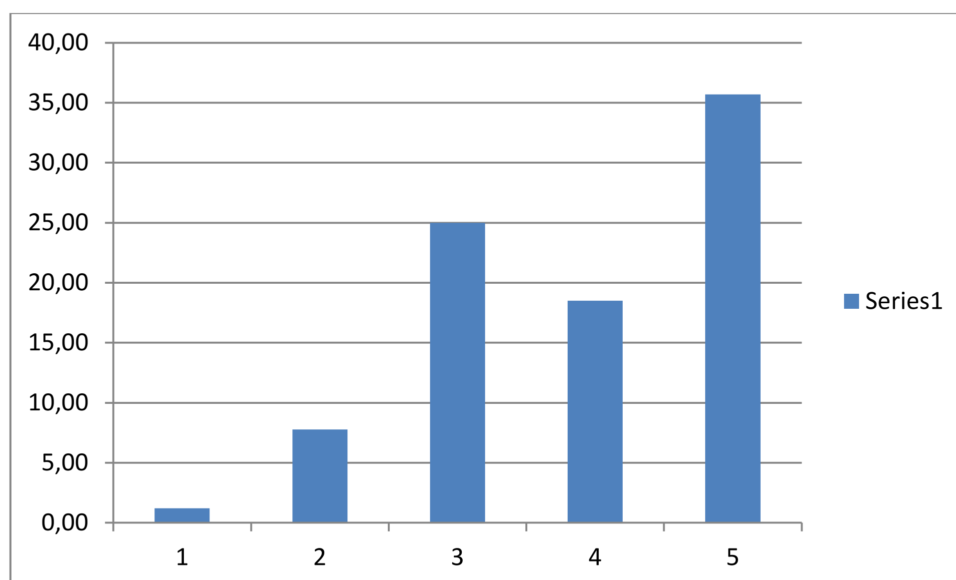


Figure 38: Histogramme des classes de degré d'érosion en fonction des superficies.

La courbe des fréquences cumulées des degrés d'érosion montre que les degrés d'érosion très forte, forte et notable sont les plus représentatives. Les classes faible et très faible sont très peu.

Cela peut être expliqué par l'interaction de plusieurs facteurs tels que la pente, la lithologie, le couvert végétal, et surtout le facteur humain qui ne cesse de dégrader l'environnement et de rendre les milieux naturelle de plus en plus vulnérable à l'érosion.

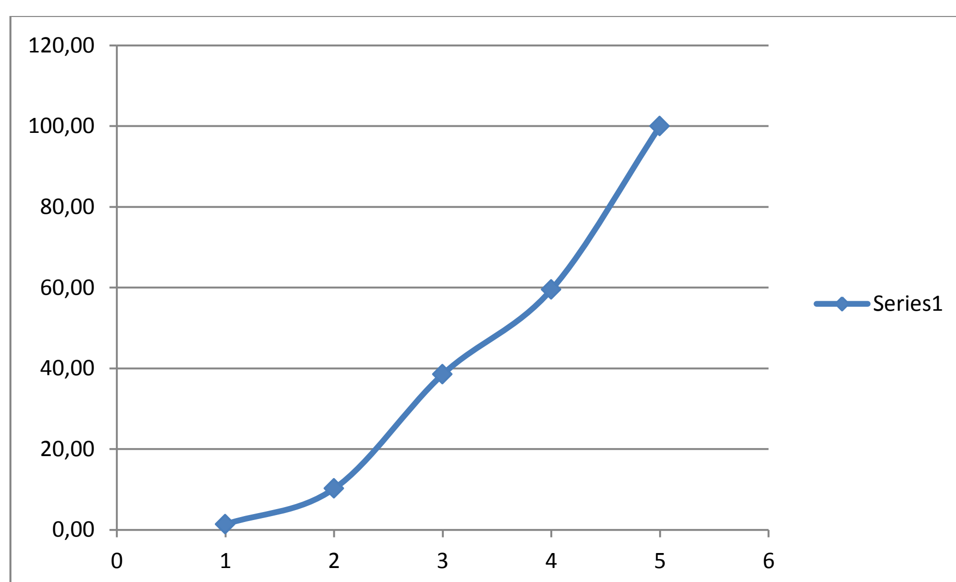
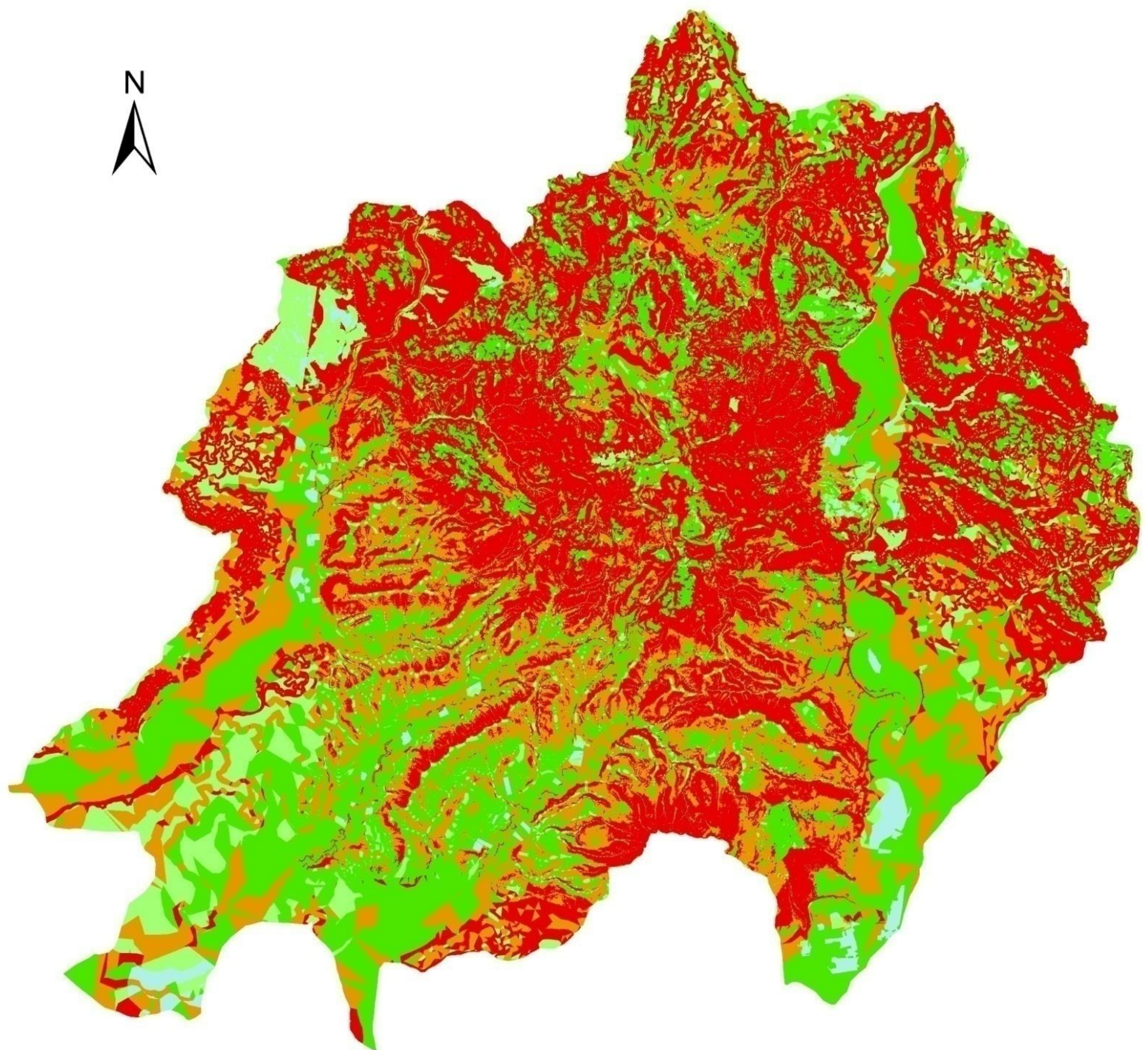


Figure 39: courbe des fréquences cumulées des degrés d'érosion.

La répartition de ces superficies sur la carte des états érosifs montre une dominance d'érosion grave et très grave. Ailleurs l'érosion élevée suit le schéma que dessine le réseau hydrographique, cela est expliqué par la présence d'un couvert végétale dense sur la partie moins érodé.

Carte des états érosifs



Legend

Degrés des états érosifs

1. Très élevé
2. Élevé
3. Notable
4. Faible
5. Très faible

0 0.5 1 2 km

Figure 38: Carte des états érosifs

III. Chapitre 3 : Approche descriptive:

Les processus d'érosion qui marquent le secteur d'étude sont très diversifiées et fortement liés aux types de sols, leurs positions dans la topographie et à l'étage bioclimatique auquel ils appartiennent, les écoulements d'eau pluviale génèrent deux formes d'érosion dont la première est liée au ruissellement et à l'écoulement selon un mode concentré ; l'autre est liée à l'infiltration ou l'eau se répand de façon diffuse dans le sol. Parmi les formes d'érosion pluviale, nous distinguons : L'eau pluviale engendre deux modes de comportement a la surface du sol dont le premier est liée au ruissellement et à l'écoulement selon un mode concentré ; le deuxième est liée à l'infiltration ou l'eau se répand de façon diffuse dans le sol. La dynamique des versants dépend donc de ces deux modes de cheminement de l'eau. Les deux types de mécanismes peuvent jouer successivement ou conjointement dans le temps, sur une même surface

- **Erosion en nappes**

Partout dans notre région, les processus de ruissellement diffus sont pratiquement généralisé ils constituent la forme d'érosion la plus élémentaire qui intervient sur toutes les surfaces inclinées, le ruissèlement se développe sur les formations strictement argileuse ou marneuse. Le ruissèlement diffus provoque simplement un décapage des sols ou formations superficielles. Les formes d'érosion se manifestent d'une part par un changement de couleur des sols et par l'amincissement de la couche superficielle (éclaircissement) et la migration des fines du haut vers le bas du versant d'autre part. Celles-ci s'accumulent en bas de versant au quel elles donnent une teinte repérable sur les photographie aériennes

Ce processus attaque particulièrement les terrains nus, en roches cohérente, à texture fine et dépourvue de toute végétation ; telles que sur les marnes, les argiles, les flyschs et les grès.

- **Erosion linéaire en rigoles, ravines et en ravins**

Les processus de ravinement représentent l'aspect le plus spectaculaire de la reprise récente des entailles. On distingue deux types de ravinements : les ravinements élémentaires ou diffus et les ravinements évolués, profonds et encaissés. Ces ravinements interviennent préférentiellement dans les terrains tendres des marnes

crétacées et des argiles triasiques, et se développent aussi sur les marnes sableuses du Miocène et sur les dépôts de pente à dominante argileuse.

a. Les ravinements élémentaires peu actifs :

Ils affectent les roches résistantes, et de manière intense, les roches meubles. Ce sont les organismes qui servent à évacuer les eaux, sans qu'il y ait ni creusement, ni accumulation.

- **Les griffes**

Sur de nombreux versants, on observe, tout d'abord, une dégradation par griffure. Ces dernières apparaissent en hiver, en raison de l'abondance pluviale, de l'énergie cinétique des eaux de pluies qui attaque les roches sensibles et de la forme du relief (pente des versants, expositions, tranches altitudinales, densité de drainage, etc.).

- **Les rigoles**

La dégradation par les rigoles se présente sous forme d'incisions peu creusées, en principe à fond plat et parois verticales, d'une largeur qui varie entre 5 et 40 cm de largeur, et de 2 à 30 cm de profondeur. Ces rigoles sont souvent rectilignes et se développent dans les versants de pente moyenne (12 à 20%), elle attaque les champs labourés et présentent un chevelu inorganisé Sur notre terrain d'étude, le ruissellement concentré se manifeste surtout dans la partie sud ; l'eau s'incise dans des formations tendres, peu perméables, marnes et argiles d'âge triasique, crétacé et miocène. Des incisions apparaissent dés les premières pluies d'automne, sur sol sec. L'importance et la vitesse de l'incision sont tributaires de la quantité et surtout de l'intensité des pluies, du degré de perméabilité et de résistance du sol, de l'énergie des filets de ruissellement, elle-même fonction du débit et de la vitesse de l'écoulement et donc de la pente et de la rugosité du substrat (kalman, 1970)

b. Les ravins encaissés, profonds et actifs

Ils sont le siège d'une érosion vigoureuse. Il s'agit des collecteurs des eaux de précipitation d'impluvium assez vaste, leur répartition spatiale est déterminé par la nature lithologique, le degré de la pente, l'exposition des versants et le degré de la couverture végétale.

Les ravines

L'érosion en ravins, ou ravinement, est le stade avancé de l'érosion en rigoles où les ruisseaux de surface ont creusé leur lit à tel point que les opérations normales de travail du sol ne suffisent plus à le combler. Les ravins sont bien entaillés, profonds et rectilignes. Ils se présentent en forme de « V », signe d'un encaissement profond Les ravines peuvent évoluer en ravins, si elles ne sont pas stabilisées. Elles évoluent en profondeur, en longueur et en largeur. Les formes et l'évolution des ravins sont diverses et sont surtout liées à la lithologie (Roose et al, 2000)



Figure 39: Ravinement généralisé au niveau de marne Tortonien

- **Les mouvements de masses par La solifluxion**

La solifluxion qui se développe sur toutes les expositions. Elle prend naissance au niveau des points de stratification entre les bancs de grés et les marnes tendres. L'érosion peut se manifester par la solifluxion, c'est un ensemble de mouvements de masse allant de petits arrachements pelliculaires aux grands glissements rationnels profonds déplaçant des quantités considérables de matériaux. Ces mouvements sont liés à la perte de cohésions entre les particules du sol ou du substratum lorsqu'il est riche en argiles. En revanche les glissements se manifestent lorsque le sol devient plastique ou liquide est on assiste soit a un glissement superficiel ou rotationnel.

a. Glissements superficiels ou pelliculaires

Il s'agit d'un mouvement lent d'une pellicule superficielle du versant qui se produit lorsque la limite de plasticité des minéraux constituants le manteau d'altération est franchie. L'eau s'infiltre dans les marnes altérées et atteint le substrat plus imperméable. Un plan lubrifié se forme.

La pellicule, d'une épaisseur moyenne de quelques décimètres, se désolidarise du reste du versant et glisse sous l'effet de la gravité dans le sens de la pente.



Figure 40: Glissement de terrain au niveau de marne Tortonien

b. Glissements rotationnels.

Le mouvement de masse dans ce cas est plus spectaculaire. Il affecte des quantités considérables de matériaux, plusieurs milliers de mètres cubes de matériaux glissent sur le versant. La masse glissée est structurée par des failles, des gradins et une loupe. L'eau, est l'agent principal dans le déclenchement des glissements rotationnels mais d'autres agents interviennent aussi tels que la pente, la tectonique et les actions humaines

- **Erosion par les cours d'eau**

Elle résulte de la turbulence des eaux courantes lors des crues. L'érosion se manifeste par le sapement des berges ou l'ablation des fonds des chenaux. La capacité de transporter est fonction de l'énergie et la vitesse des cours d'eau ce qui implique qu'un chenal est en équilibre lorsque toute l'énergie est dépensée dans le transport des sédiments ce qui veut dire que si la charge en sédiments est faible, l'énergie disponible est utilisée pour l'érosion des berges.



Figure 41: Sapement de berge au niveau de marne Tortonien

- **Carte des formes de l'érosion**

La carte des formes de l'érosion est réalisée a partir la photo aérienne de Taounate.

Le tableau suivant résume l'analyse spatiale de la base de données de la carte des formes d'érosion avec, dans la première colonne, les abréviations descriptives des formes utilisées pour les directives du PAP/CAR.

forme d'érosion	**Code**	**Surface en Km²**	**% da la superficie**
Lent décapage, Ruissellement diffus ou érosion en nappe	L2	53.76	60.93
Ravins profonds et moyennement profonds	C3	0.41	0.47
pas d érosion visible sur un site protégé par un couvert végétale assez dense	O5	33.26	37.70
Zone à Bad-lands, ravinement généralisé	CX	0.41	0.47
Rigoles et Ravinement Superficiels sur Versant	D2	0.04	0.04
Glissement de terrain	M1	0.26	0.29
Important sapement de berge localise	MX	0.09	0.10
Totale		**88.23**	

Tableau 27: superficies relatives des formes d'érosion

À partir de ce tableau on a réalisé l'histogramme des fréquences des formes d'érosion en fonction des superficies relatives qui montre que le Ruissellement diffus ou l'érosion en nappe représente 33.76 Km² (60.93% de la superficie totale du bassin versant). Les zones où il n'y a pas d'érosion pour être protégés par un couvert végétal occupent la deuxième place avec 33.26 Km², le reste sont des formes très localisée et ne dépassent pas 1,21 Km². La répartition de ces formes dans la zone d'étude montre que la forme la plus représentée dans tout le bassin est les ruissellements diffus ou l'érosion en nappe.

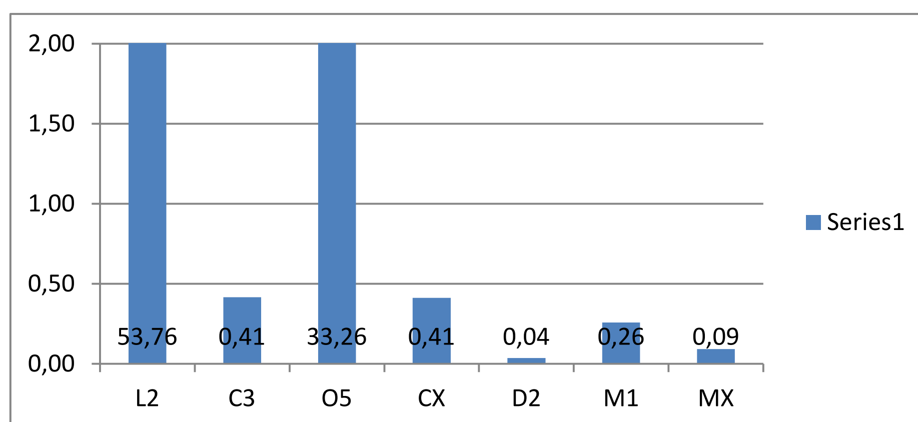


Figure 42: de fréquence des formes d'érosion en fonction des superficies relatives

La carte des formes d'érosion



Legend

Limite de la zone d'étude

Km
0 0.75 1.5 3

les formes

- Zone à Bad-lands, ravinement généralisé
- Glissement de terrain
- Lent décapage, Ruissellement diffus ou érosion en nappe
- pas d érosion visible
- Ravins profonds et moyennement profonds et rigoles
- sapement de berge

Figure 43: La carte des formes d'érosion

IV. Approche intégration

Cette phase est le produit de deux étapes précédentes. Il s'agit de compléter les résultats obtenus lors de la phase prédictive par les données descriptives des processus d'érosion cartographiées et réalisées au cours de la deuxième phase. La combinaison de deux résultats nous fournit un produit cartographique très précis qui reflète la réalité de l'état de dégradation du sol et l'évolution future de l'érosion. Elle aboutit au produit cartographique final identifiant et évaluant, à la fois l'érosion potentielle (Statut érosif) et l'érosion actuelle sous ses différentes formes, intensités et tendances évolutives.

- **Réalisation de la carte consolidé d'érosion PAP/CAR**

C'est une carte qualitative, qui combine les données des approches descriptives et prédictives et contient des informations complètes sur les différents aspects des phénomènes d'érosion. La carte a été réalisée par la superposition des cartes des états érosifs obtenues par la cartographie thématique et la carte des formes d'érosion obtenue par cartographie directe des formes d'érosion sur le terrain ou par les images satellites.

La carte des états érosifs a été utilisée comme canevas cartographique de référence. La superposition a permis de fournir une grille d'unités homogènes pouvant être affectées par une grande variété de processus d'érosion.

La carte consolidée PAP/CAR montre que :

Les ravins moyennement profonds coïncident avec des zones où le degré d'état érosif est faible à moyen, la présence de ces formes peut être liée à la pente forte et l'agressivité des pluies. Pas d'érosion visible sur les sites protégés par un couvert végétale assez dense coïncide avec des zones où le degré d'érodibilité est faible et le degré de protection est élevé, Cela est expliqué par la présence d'une densité forte de couverture végétale.

Dans la partie médiane en remarque la présence de toutes les formes : les rigoles et ravinements, situé surtout sur les versants. Les Bad-lands et le décapage caractérisent cette partie. La partie avale est marquée par la présence de l'érosion en nappe localisé là où la pente est faible. Les bad-lands sont liées surtout à des terrains de forte pente et une densité de couverture faible. En ce qui concerne le degré d'état érosif, la partie avale montre un degré fort à extrême. La liaison des états prédictives et descriptive témoigne que cette zone et très vulnérable à l'érosion.

Certains contrastes apparaissent dans la carte résultante, notamment les formes de badlands dans les alternances gréso-marneuses de la base du Tortonien reclassées peu sensibles à l'érosion. De même le cas de la classe de l'arboriculture considérée par le plan anti-érosif du bassin versant d'oued Ouergha. De telles irrégularités dans la méthodologie ne peuvent être appréhendées que par une adaptation de l'approche au secteur étudié et des analyses des sols à l'amont de toute assignation des classes de facteurs et leurs pondérations.

La carte consolidée PAP/CAR

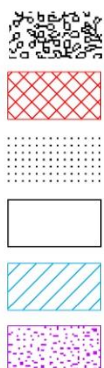
N

Km

0 0.75 1.5 3

Legend

Les formes d'érosion



CX: Zone à Bad-lands, ravinement généralisé

M1: Glissement de terrain

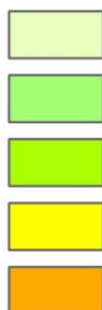
L2: érosion en nappe

O5: pas d érosion visible

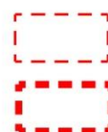
C3: Ravins et rigoles

MX: sapement de berge

Etats érosifs



1. Très élevé
2. Élevé
3. Notable
4. Faible
5. Très faible



Limite des sous-bassins versants

Limite de la zone d'étude

Figure 44: La carte consolidée PAP/CAR de la zone d'étude

Conclusion Générale

La zone d'étude est une zone où l'on peut observer toutes les formes d'érosion hydrique : formes liées aux ravinements, aux mouvements de terrais, tels que la solifluxion superficielle ou profonde, écoulement boueux, glissement, érosion fluviatile ou torrentielle. Cette région rassemble toutes les conditions favorables au développement de ce type d'érosion : précipitations agressives, roches tendres, pentes fortes, matorrals défrichés ou surpâturés. La cartographie et mesures de l'érosion grâce à la méthode consolidée PAP/CAR basée sur les facteurs naturels uniquement (pente, couvert végétal et lithologie) permet d'analyser et de comprendre la problématique de la zone d'étude sur le plan risque érosif, usage des terres et l'interaction des facteurs naturels et humains.

Les cartes de la phase prédictive fournissent des informations sur l'état actuel de la dégradation des sols. La carte fait ressortir trois états, 54.18% de la surface, est très érodable, 24.98% de la surface du terrain d'étude à une érosion potentielle moyenne, le reste, soit 9% des terrains présentant une faible à très faible prédisposition à l'érosion hydrique.

La carte de la phase descriptive montre que 60% de la superficie totale du bassin versant est représentée par le Ruissellement diffus et l'érosion en nappe. Les autres formes d'érosion (Zone à Bad-lands, Ravins moyennement profonds, Solifluxion…) sont concentrées et ne couvrent que 1.37% de la superficie totale.

La superposition de la cartographie prédictive et descriptive a permis de montrer les tendances globales de l'évolution superficielle des sols du bassin versant. Ainsi, on a pu faire sortir la coïncidence de certains états très dégradés avec des formes d'érosion spectaculaires et d'autres états plus stables avec des formes d'érosion mineurs ou carrément des zones stables.

Annexe :



Photo 1 : Grès calcaires Tortoniens



Photo 2: Marnes gréseuses bleues Tortoniens



Photo 3: marnes shisteuses du Sénonien



Photo 4: marnes bleues de la série de Taounate

Bibliographie

- FARES A. 1994, Essai méthodologique de la cartographie des risques naturels lies aux mouvements de terrain. Application à l'aménagement de la ville de Taounate. Univ. de Franch-Comte.

- GEOTECHMED 2015, Elaboration de l'ETUDE GEOTECHNIQUE ET DE LA CARTE D'APTITUDE A L'URBANISATION DE LA VILLE DE TAOUNATE : Phase I.

- ASEBRY L. 1984, La structure du Rif Central, Thèse Univ. Montpelier, 155p.

- EL OUADINI M., AIT BRAHIM L., MOUKHCHANE M., BENJBARA A., NACHITE D. (2000). Erosion dans le bassin versant de MARTIL, Maroc NO. Bull. Réseau Erosion 20, IRD, Montpellier, France, pp 78-86.

- Heusch B., Kalman R., Duhamel P.L. & Robert P. (1970), Erosion, transport solide, sédimentation. Ann. Rech. Forest. Maroc. n° sp. Etude sur l'érosion, 10, 390 p.

- Kirpich Z. P. 1940, Time of concentration in small agricultural watersheds. Civil Engineering, 10 (6): 362-.

- LACUSTE J. 1934, Etude géologique dans le Rif méridional, Not. Sérv. Géol., Maroc, 31, T.1-2, 660p.

- PAP/CAR 1998, Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes. PAP-8/PP/GL.1. Split, Centre d'activités régionales pour le Program me d'actions prioritaires (PAM/PNUE), en collaboration avec la FAO.. pp xii+72.

- RUSSO P. 1927, Recherche sur la géologie du Rif central, Bull Soc. Géol. Fr., T.27, pp. 419-435.

- STRAHLER 1952, GSA Bulletin 63, p. 1117-1142

- SUTER G. 1965, La région du moyen Ouergha, Etude préliminaire sur la stratigraphie et la tectonique, Not. et Mém. Du serv. Géol. (Maroc), T. 24, 183, pp7-17.
- SUTER G. 1967, Carte géologique de Taounate-Ain Aicha à 1/50000. Not. Et Mém. Du serv. Géol. Maroc, 186 bis.